

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Diplomová práce

2018

Bc. Lukáš Vacek

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Úprava technologického postupu svařování rotoru podávače

Modification of Welding Procedure of the Rotor Feeder

Student:

Bc. Lukáš Vacek

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Lukáš Vacek

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Úprava technologického postupu svařování rotoru podávače
Modification of Welding Procedure of the Rotor Feeder

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te charakteristiku svařované konstrukce rotoru.
2. Navrhnete variantně technologický postup svařování rotoru.
3. Analyzujte možné zdroje vad svarů.
4. Proved'te vyhodnocení navrhovaných změn a diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.

Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava : Česká svářečská společnost ANB; Zeross - svářečské nakladatelství, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava : Česká svářečská společnost ANB; Zeross - svářečské nakladatelství, 2001. ISBN - 80-85771-85-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Klíma

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. května 2018



.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uloženu vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20. května 2018


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Vacek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Orlice 17, 561 51 Letohrad

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu a konzultantovi mé diplomové práce, panu Ing. Vladislavu Ochodkovi a Ing. Janu Klímovi, za jejich odborné vedení a cenné rady, které podpořily vznik této práce. Rád bych zde také poděkoval své rodině, která mě při tvorbě mé závěrečné práce a po celé době studií na Vysoké škole báňské - Technické univerzitě Ostrava podporovala.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VACEK, L. *Úprava technologického postupu svařování rotoru podavače: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 81 s. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek.

Diplomová práce se zabývá úpravou technologického postupu svařování rotoru podavače. Podavač slouží k transportu sypkých látek na místa určení. V úvodu práce je provedena charakteristika svařované konstrukce obsahující konstrukční, funkční a materiálové vlastnosti, včetně rozboru technologie svařování. Byl navrhnut nápravný technologický postup, který byl následně zkoumán na možné zdroje vzniku vad ve svárové spoji. V závěru práce je provedeno vyhodnocení a diskuze dosažených výsledků úpravy technologické postupu svařování rotoru podavače.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

VACEK, L. *Modification of Welding Procedure of the Rotor Feeder: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, 81 pgs. Thesis head: Ing. Vladislav Ochodek.

The thesis deals with the modification of the technological welding process on the feeder rotor. The feeder is used to transport loose materials to the destination. At the beginning of the thesis a characteristic of the welded structure was made, including structural, functional and material properties including analysis of welding technology. A corrective technological process was proposed, which was subsequently examined for possible sources of weld joint defect. The evaluation and results discussion of the technological procedure adjustment was performed at the end of the thesis.

Obsah

1	Úvod	12
2	Společnost Bühler Group	14
3	Charakteristika svařované konstrukce	15
3.1	Funkční vlastnosti rotorového podavače (AirLock)	15
3.2	Konstrukční vlastnosti rotorového podavače (AirLock).....	18
3.3	Rozbor základního materiálu	20
3.4	Problematika svařované konstrukce.....	23
3.5	Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou 131/135.....	23
3.6	Vývoj metody svařování 131/135	24
3.7	MIG/MAG svařování a jeho charakteristické vlastnosti.....	24
3.8	Princip metody svařování MIG/MAG	25
3.9	Svařovací zařízení pro realizaci svarového spoje	26
3.10	Svařování metodou MIG (131)	27
3.11	Svařování metodou MAG (135).....	27
3.12	Přenos kovu v oblouku	28
3.13	Pulzní přenos svařovacího proudu.....	28
3.14	Ochranné plyny pro svařování MIG/MAG	30
3.15	Odlišnosti závaru při použití inertního nebo aktivní plynu	33
3.16	Bezpečnostní předpisy pro svařování MIG/MAG.....	33
3.17	Svařovací zdroj Fronius TransPuls Synergic 5000	34
3.18	Automatizované pracoviště Reis RV30-16	35
3.18.1	Robotická ruka RV30-16	36
3.18.2	Výhody užití svařovacího robota Reis Robotics RV30-16.....	36
3.18.3	Dvoupaletový systém Reis Robotics	38
4	Popis výrobního stavu svařované konstrukce.....	40
4.1	Zamezení ulpívání rozstřiku svarového kovu	40
4.2	Ochranná atmosféra	40

4.3	Stávající svařovací parametry	40
5	Návrh technologického postupu svařování rotoru	42
5.1	Úprava stehování před svařováním	42
5.2	Aplikace ochranného keramického povlaku	45
5.3	Korekce volné délky drátu	45
5.4	Návrh svařovacího postupu	46
6	Vady vznikající při svařování rotoru AirLock	56
6.1	Rozstřík svarového spoje	56
6.2	Odchylka dráhy svařovacího hořáku	57
6.3	Neprovařený kořen svarového spoje	58
6.4	Póry ve svarovém kovu	59
6.5	Bubliny ve svarovém kovu	60
6.6	Kráterové trhliny	61
6.7	Deformace lopatek vlivem vneseného tepla	61
7	Makroskopický rozbor svarového kovu	62
7.1	Makroskopický rozbor pWPS01	63
7.2	Makroskopický rozbor pWPS02	65
7.3	Makroskopický rozbor pWPS03	67
7.4	Makroskopický rozbor kráterové trhliny	68
7.5	Analýza makroskopického rozboru dle pWPS01	69
7.6	Analýza makroskopického rozboru dle pWPS02	69
7.7	Analýza makroskopického rozboru dle pWPS03	69
7.8	Analýza makroskopického rozboru kráterové trhliny	69
8	Vyhodnocení a diskuse dosažených výsledků	71
8.1	Vyhodnocení stehovacího postupu	71
8.2	Vyhodnocení svařovacího postupu pWPS	71
8.3	Foukání elektrického oblouku	72
8.4	Korekce dráhy svařovacího hořáku	72

8.5	Revize svařovacího zařízení.....	72
8.6	Návrh nové generace svařovacího hořáku	73
8.7	Rozstřík svarového kovu.....	74
9	Závěr.....	75
10	Použitá literatura	76

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Jednotka	Význam
A	[%]	Tažnost
AC	[V]	Druh polarity
Ar	[%]	Argon
A1	[°/s]	Úhlová rychlost v ose A1
A2	[°/s]	Úhlová rychlost v ose A2
A3	[°/s]	Úhlová rychlost v ose A3
A4	[°/s]	Úhlová rychlost v ose A4
A5	[°/s]	Úhlová rychlost v ose A5
A6	[°/s]	Úhlová rychlost v ose A6
C	[hm. %]	Uhlík
Cr	[hm. %]	Chrom
Cu	[hm. %]	Měď
CO ₂	[%]	Oxid uhličitý
ČSN	-	Česká technická norma
D	[mm]	Průměr
DC	[V]	Druh polarity
EN	-	Evropská norma
F	[Hz]	Frekvence
H	-	Výrobní řada AirLock
He	[%]	Helium
I	[A]	Elektrický proud
IP	-	Stupeň krytí
ISO	.	Mezinárodní organizace pro standardizaci
J	-	Výrobní řada AirLock
K	-	Výrobní řada AirLock
MAG	-	Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou
MIG	-	Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou
Mn	[hm. %]	Mangan

Mo	[hm. %]	Molybden
N	[hm. %]	Dusík
Ni	[hm. %]	Nikl
O ₂	[%]	Kyslík
P	[Pa]	Tlak
PL	[mm]	Tloušťka plechu
pWPS	-	Předběžný návrh svařovacího postupu
Q _v	[l/min]	Objemový průtok
Re	[MPa]	Mez kluzu
R _m	[MPa]	Mez pevnosti
S	[VA]	Zdánlivý výkon
Si	[hm. %]	Křemík
TIG	-	Svařování netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře
U	[V]	Elektrické napětí
v	[mm/s]	Svařovací rychlost
WIG	-	Svařování netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře

1 Úvod

Svařování je děj, při kterém dochází k vytvoření takových termodynamických podmínek, aby mohlo dojít k vytvoření nerozebíratelného spoje. Takovýto spoj se může skládat ze dvou nebo více součástí. Pro vytvoření svařovaného spoje je nutný vznik nových meziatomárních vazeb. Dle způsobu vzniku vazeb se primárně dělí na svařování tavné, a tlakové. Svařovat je možné materiály kovové, nekovové, včetně materiálů s odlišnými vlastnostmi. Vždy je však nutné vhodně zvolit svařovací technologie v závislosti na druhu svařovaných materiálů.

Práce byla zadána firmou Bühler CZ, která je součástí společnosti Bühler A.G. Společnost Bühler A.G. se přednostně zabývá výrobou strojů pro potravinářský průmysl, kde je využíván rotorový podavač. Rotorový podavač je součástí, kde se uplatňuje automatizované 131/135 pulzní svařovací technologie. Robotická ruka, která nese svařovací hořák, je dodána firmou Reis Robotics. Automatizované pracoviště je opatřeno dvoupaletovým podávacím systémem pro zvýšení produktivity výroby.

Svařovanou konstrukcí je rotorový podavač, který se skládá z nosného hřídele, na který jsou přivařovány lopatky tvořící část funkčního mechanismu AirLock. Mezi hlavní funkční vlastnosti rotorového podavače patří redukce pracovního tlaku po filtračním procesu. Mezi další funkční vlastnosti se řadí regulovatelnost procesu a bezpečnostní opatření při možném vznícení filtrovaného média. Automatizované svařování není stabilním a opakovatelným procesem. Základním materiálem je austenitická chrom-niklová ocel.

Cílem diplomové práce je optimalizace automatizovaného obloukového svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou s pulsním přenosem svarového kovu. U svařování se vyskytují nepřípustné vady v podobě kráterových trhlin, zápalů a pórů ve svarovém kovu. Svařování se provádí zdrojem TransPuls 5000, který je digitalizovaný a mikroprocesorem řízený svařovací zdroj pro MIG/MAG svařování pro krátký, sprchový a impulzní oblouk.

Předmětem práce je analyzovat a zjistit možné příčiny vzniku vad při svařování. Vytvoření nápravného svařovacího postupy včetně pWPS. Pomocí vizuální kontroly a

metalografického rozboru budou určeny přípustné a nepřípustné vady (kritéria pro kvalitativní hodnocení svarových spojů).

Výstupem je podrobné popsání vad, které mohou při svařování konstrukce nastat a opatření, která povedou ke stabilizaci procesu svařování.

2 Společnost Bühler Group

Téma diplomové práce bylo zadáno společností Bühler CZ. V roce 2012 se společnost Bühler A.G. rozhodla rozšířit své působení do České republiky. Bühler CZ je dceřinou společností Bühler A.G., se sídlem ve městě Žamberk. Ihned po odkoupení závodu společnost započala modernizaci výrobního zařízení. Nejrozsáhlejší investici byla nová výrobní hala, která byla navržena pro výrobu strojů do potravinářského průmyslu. Nová výrobní hala je vybavena technologiemi na zpracování plechů, jakými jsou laser pro dělení materiálu, svařovnou, ohraňovacími a zakružovacími stroji, moderní svařovnou, práškovou a mokrou lakovnou. Součástí této haly jsou také kanceláře konstrukční a technické přípravy výroby [1].

Hlavním sortimentem produktů jsou zařízení mlýnů. Další produkty jsou stroje pro výrobu těstovin, čokolády, krmiva pro domácí zvířata, včetně součástí do strojů pro tlakové lití hliníkových slitin. Přibližně 20 % produkce firmy Bühler CZ tvoří externí zakázky mimo obor firmy Bühler CZ [1].

Jsou to především

- Díly pro textilní stroje na výrobu vláken.
- Díly pro nákladní vozidla značky Tatra.
- Díly pro tiskařské stroje [1].

3 Charakteristika svařované konstrukce

Rotorový podavač je velmi progresivní komponent produkce společnosti Bühler CZ. V dnešní době bylo vyrobeno více než 10 000 kusů. Lopatkový rotor je vyráběn ve dvou základních variantách. Pro menší objemy filtrace jsou odlévány odlitkové polotovary, které se posléze obrábí dle výkresové dokumentace. Druhou část produkce tvoří rotory svařované. Počet vyráběných rotorů je srovnatelný. Na obrázku č. 1 je smontovaný produkt AirLock včetně pohonného motoru.



Obrázek č. 1 - Rotorový podavač AirLock [2]

3.1 Funkční vlastnosti rotorového podavače (AirLock)

Společnost Bühler CZ se zabývá výrobou kompletních systémů pro potravinářský průmysl. AirLock je umístěn na konci filtračního systému, do kterého jsou na vstupu přiváděny sypké látky v podobě obilných surovin. V průběhu filtrace dojde k separování sypké látky přes látkové filtry, do kterých jsou sypké látky vháněny pod pracovním tlakem. Pracovní tlak se liší v závislosti na výkonu filtrační soustavy. Odfiltrovaná sypká látka dále pokračuje po dopravní cestě na určená místa. Komplikací systému je však výše zmíněný pracovní tlak. Při absenci rotorového podavače by docházelo k výpustí sypkých látek včetně pracovního tlaku. Následkem pracovního tlaku by bylo víření filtrované sypké látky do ovzduší. Na obrázku č. 2 je filtrační systém Baby Cyklon v procesu s náhledem na umístění součásti AirLock.

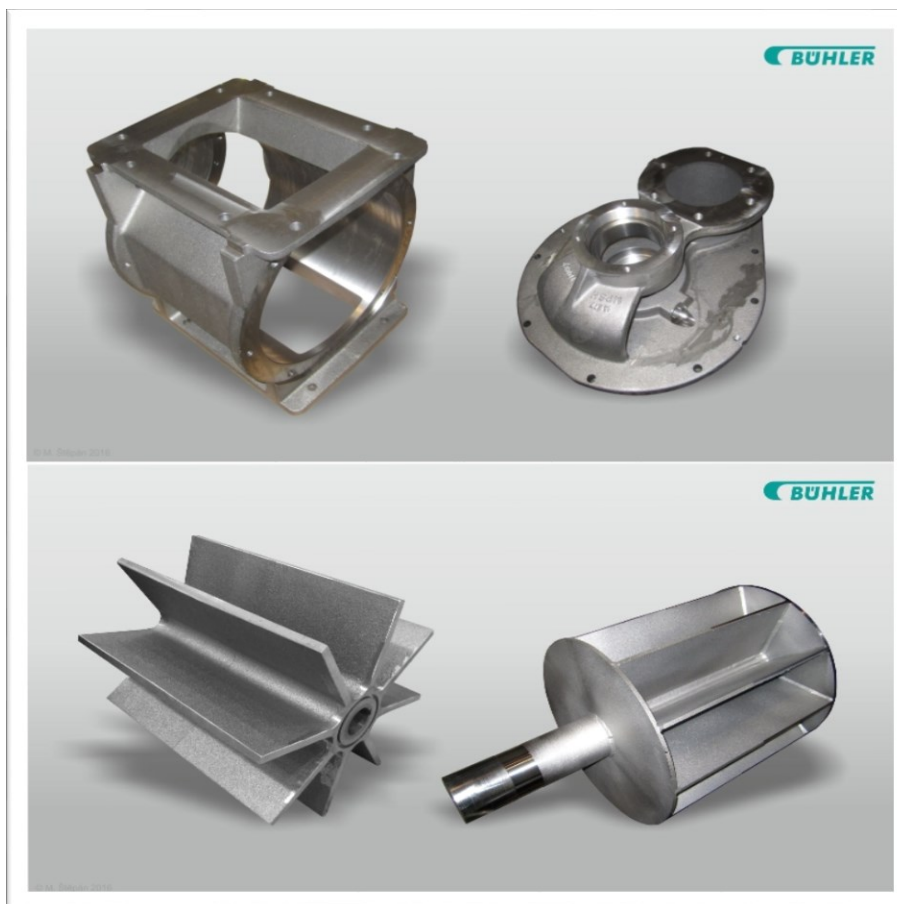


Obrázek č. 2 - Filtrační systém v provozu

AirLock a jeho funkce

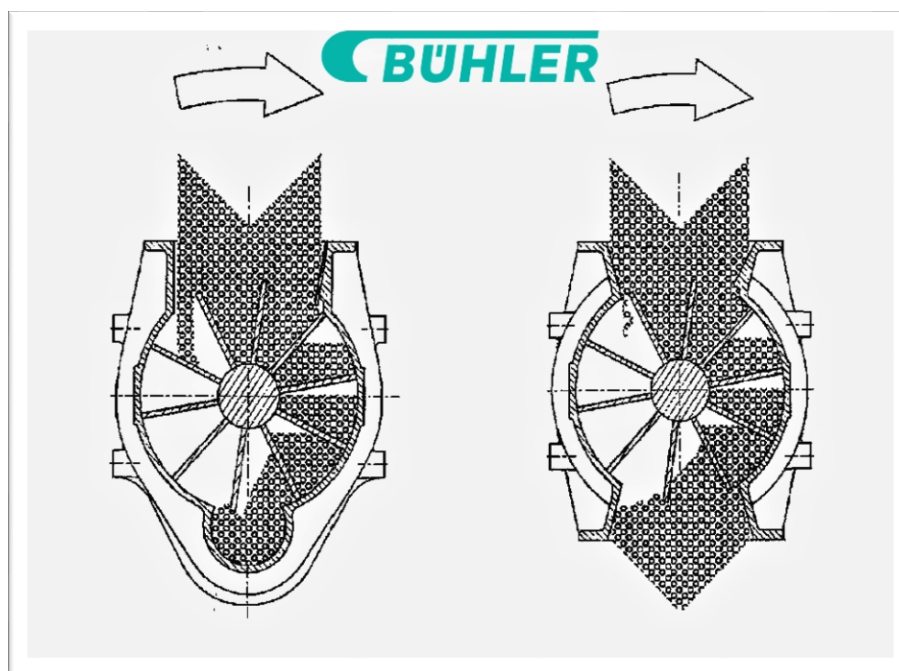
- Slouží jako propust materiálu mezi prostory s rozdílnými tlaky.
- Slouží k dávkování dodávaného materiálu.
- Slouží jako bezpečnostní uzávěr v případě zahoření dodávaného materiálu.

AirLock je vyráběn v šesti velikostech a zároveň ve čtyřech typových řadách – N, H, J a K, lišící se od sebe směrem výdeje dopravovaného materiálu.



Obrázek č. 3- Komponenty podavač AirLock

Schématické znázornění funkce rotorového podavače je znázorněna na obrázku č. 4. Pro správnou funkci celého systému je důležitá těsnost, aby nedocházelo k bočnímu úniku pracovního tlaku skrze lopatkové kolo podavače, které by vedlo k víření sypké látky. AirLock je mechanicky navržen na kontinuální tlak 0,15 MPa (1,5 bar) s možnými rázovými odchylkami do 0,42 MPa (4,2 baru).



Obrázek č. 4- AirLock schematická funkce

3.2 Konstrukční vlastnosti rotorového podavače (AirLock)

Z konstrukčního hlediska se AirLock skládá ze základní skříně, hřídele, na které jsou upevněny lopatky rotoru a čelních kruhových bočnic pro lepší efektivitu výkonu rotorového podavače. Finální komponent obsahuje navíc ložiska pro přesné vedení hřídele uvnitř základní skříně včetně těsnících prvků, a v neposlední řadě motoru, který je upevněn vně skříně a slouží jako redukční člen mechanismu.

Na obrázku č. 5 je výkres sestavy lopatkového kola. Na této sestavě je prováděno svařování metodou v ochranné atmosféře tavící se elektrodou na robotizovaném pracovišti Reis Robotics. Technologický postup přípravy lopatkového kola je následující. První operací je příprava polotovaru hřídele, která se uřízne na požadovanou délku včetně přídavků pro obrábění. Následuje technologie svařování nastehováním všech lopatek včetně čelních kol. Robot Reis Robotics poté rotor svaří a finální operací je obrábění dle výkresové dokumentace.

3.3 Rozbor základního materiálu

Základní materiál 1 – tyč kruhová \varnothing 75 X6CrNiTi 8-10

Strukturu těchto ocelí tvoří převážně tzv. γ -austenit. Austenitická struktura vzniká při dostatečném obsahu tzv. austenitotvorných prvků (Ni, Mn, N). Základním typem je chrom-niklová austenitická ocel s 18 % Cr a 9 % Ni. Pro docílení požadované korozní odolnosti a mechanických vlastností, se přisazují další legující prvky. Pro zachování austenitické struktury však musí být působení austenitotvorných a feritotvorných prvků vyvážené. Vliv základních a doprovodných prvků na vlastnosti lze schematicky charakterizovat následovně:

- Celková korozní odolnost (Cr, Mo, Cu, Si, Ni).
- Mechanické vlastnosti (N).
- Obrobitelnost (S, Se, P, Pb, Cu).
- Odolnost proti bodové a štěrbinové korozi (Mo, Si, N).

Austenitické korozivzdorné oceli nepodléhají fázovým přeměnám a jsou nemagnetické. Pevnost lze zvyšovat pouze legováním (např. přísadou N), nebo u některých typů, které se vyznačují menší stabilitou austenitu, tvářením za studena (pěchování, tažení).

Tabulka 1- Chemické složení X6CrNiTi 18-10 [15]

Označení		Obsah prvků v hmotnostních %			
Značka	Číselné označení	C max.	Cr	Ni	Ti
X6CrNiTi 18-10	1.4541	0,08	17 - 19	9 - 12	4

Tabulka 2- Mechanické vlastnosti X6CrNiTi 18-10 [15]

Označení		Mechanické vlastnosti		
Značka	Číselné označení	Mez kluzu Re (MPa)	Mez pevnosti Rm (MPa)	Tažnost A50 min. (%)
X6CrNiTi 18-10	1.4541	235	500 - 700	40

Chromniklová ocel s číselným označením 1.4541 se řadí mezi oceli austenitické s přidaným titanem pro stabilizaci. Ocel díky obsahu titanu není náchylná na mezikristalickou korozi po svařování. Lze svařovat bez tepelného zpracování. Garantovaná svařitelnost při použití všech metod svařování elektrickým obloukem. Nelze užít svařování plamenem [17].

Základní materiál 2 – PL8 X6Cr17

Ze základního materiálu 2 jsou vyráběny lopatky rotorového podavače. Jedná se o austenitickou korozivzdornou ocel.

Tabulka 3- Chemické složení X6Cr17 [16]

Označení		Obsah prvků v hmotnostních %		
Značka	Číselné označení	C max.	Cr	Mn max.
X6Cr17	1.4016	0,08	15,5 – 17,5	1

Tabulka 4- Mechanické vlastnosti X6Cr17 [16]

Označení		Mechanické vlastnosti		
Značka	Číselné označení	Mez kluzu Re (MPa)	Mez pevnosti Rm (MPa)	Tažnost A50 min. (%)
X6Cr17	1.4016	280	450 - 600	20

Ocel s číselným označením 1.4016 je dobře svařitelná. Svařitelnost je garantována převážně nízkým obsahem uhlíku. Nízký obsah uhlíku dále nepodporuje vzniku karbidu chromu na hranicích zrn, což vede k zvýšené odolnosti proti mezikristalické korozi [18].

Přídavný drát ESAB OK Autorod 16.95

Drát pro svařování austenitických nerezavějících ocelí s vysokým obsahem manganu, pro spoje ocelí obtížně svařitelných. Drát je určen hlavně pro svařování ocelí typu 18-8 s uhlíkovými a nízkolegovanými oceli [12].

Tabulka 5- Typické chemické složení přídavného drátu (%) [12]

OK Autorod 16,95					
Prvky	C	Si	Mn	Cr	Ni
Obsah prvků v hm. %	<0,20	<1,2	6,5	18,5	8,5

Tabulka 6- Mechanické hodnoty čistého svarového kovu [12]

OK Autorod 16,95						
Podmínky	Stav	Plyn	R _m MPa	R _{p0,2} MPa	A ₅ %	KV (J)/°C +20
EN	TZ 0	M13	630	450	41	130

Tabulka 7- Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty [12]

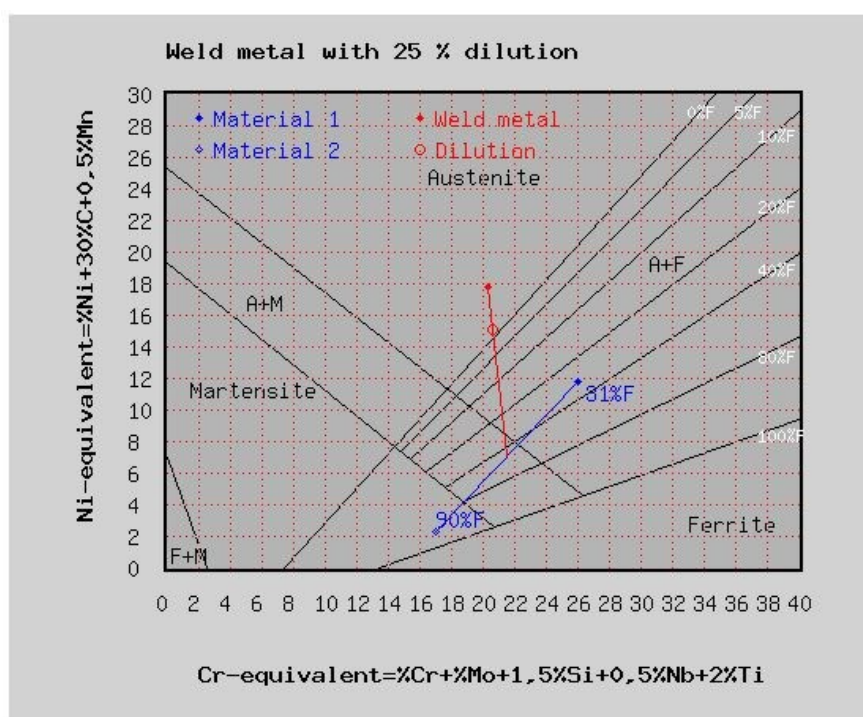
OK Autorod 16,95					
Ød (mm)	Proud (I)	Napětí (V)	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
1	80 - 240	15 - 28	15	3,5 - 18	1,6 - 6,0

Schaefflerův diagram

Schaefflerův diagram poskytuje informace o svařovacích vlastnostech různých typů mikrostruktury v závislosti na tom, jaké legující prvky obsahují. Ekvivalent chromu se vypočítá s použitím hmotnostního procenta feritových stabilizačních prvků, a ekvivalent niklu se vypočte s použitím hmotnostního procenta stabilizačních prvků austenitu. Zadáním ekvivalentu Ni nad ekvivalent Cr pro nerezovou ocel do schématu podle Schaefflera je schopen nalézt obsah martenzitu, austenitu a feritu ve výsledné mikrostruktuře. Na obrázku č. 6 výpočet promísení svarového spoje včetně výpočtu ekvivalentního obsahu prvků Cr a Ni [19].

Composition	Base material 1		Base material 2		Weld metal	
Carbon C [%]		0,06		0,06		0,2
Silicon Si [%]		0		0		1,2
Manganese Mn [%]		0		1,00		6,5
Chromium Cr [%]		18		17		18,5
Molybdenum Mo [%]		0		0		0
Nickel Ni [%]		10		0		8,5
Niobium Nb [%]		0,00		0,00		0,00
Titanium Ti [%]		4		0,00		0,00
Chromium equivalent [%]		26,00		17,00		20,30
Nickel equivalent [%]		11,80		2,30		17,75
Dilution		25 [%]		Cr equivalent 20,60 [%]		Ni equivalent 15,08 [%]
Compute						

Obrázek č. 6- Schaefflerův diagram výpočet [19]



Obrázek č. 7- Schaefflerův diagram [19]

3.4 Problematika svařované konstrukce

Svařování rotorů podavače AirLock byl velmi nestabilní a neopakovatelný proces. Při svařování se vyskytují problémy se stabilitou hoření elektrického oblouku. Dochází ke značnému rozstříku svarového kovu na čelní plochy lopatek rotoru. Tato vnější vada je nepřijatelná a přináší přímé zvýšení výrobních nákladů na jejich odstranění. Mechanické odstranění je časově náročný proces, který by bylo vhodné minimalizovat, popřípadě úplně odstranit. Další závažnou vadou vyskytující se při svařování, jsou neprůvary kořenové oblasti, trhliny a nepříznivá křehká martenzitická struktura ve svarovém spoji. Pro svařování rotorových podavačů se používá obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou 135.

3.5 Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou 131/135

Vznik technologie MIG, obloukové svařování v inertních plynech tavící se elektrodou se datuje do druhé poloviny devatenáctého století, kde došlo k vývoji nové varianty obloukového svařování. Elektrický oblouk hoří mezi přídavným materiálem, která je ve formě drátu a základním materiálem v prostředí ochranných plynů. Tavící se elektroda je posouvána podávacím zařízením rychlostí odpovídající rychlosti odtavení. Ochranný plyn je dodáván do oblasti svarové lázně skrze svařovací hořák. Technologie MIG je primárně využívána pro svařování hliníku a jeho slitin [3].

Z ekonomických důvodů došlo ke změně inertních plynů za plyny aktivní. Svařování tavící se elektrodou v aktivních plynech bylo využíváno již od roku 1955. První ochrannou atmosférou byl oxid uhličitý CO_2 , který se však do teploty $700\text{ }^\circ\text{C}$ chová jako plyn inertní, avšak nad touto teplotou působí oxidačně, jelikož dojde rozkladu plynu na kyslík a oxid uhelnatý. Chemická rovnice rozkladu oxidu uhličitého: $\text{CO}_2 \rightarrow \text{O} + \text{CO}$. Rozložené složky oxidu uhličitého působí aktivně na svarovou lázeň. Jelikož se jedná o aktivní ochranný plyn, technologie svařování se nazývá obloukové svařování v aktivních plynech tavící se elektrodou. Z anglického názvu Metal Active Gas poté vyplývá zkratka MAG. Svařování MIG/MAG i nadále pokračovalo ve vývoji a výsledkem bylo vynalezení nových variant hoření elektrického oblouku, a to přenosem kovu zkratovým, sprchovým, pulzním nebo jejich kombinací. Rovněž došlo k užití nových druhů aktivních směsných plynů [3].

Pomocí nových druhů ochranných atmosfér došlo k možnosti formování svarového spoje a ke zvýšení stability hoření elektrického oblouku, což vedlo ke značnému snížení

rozstřiku svaru. Již koncem osmdesátých let svařování MIG/MAG bylo dominantní technologií ve svařování elektrickým obloukem. Bylo využíváno jako svařování ruční, mechanizované a robotizované [3].

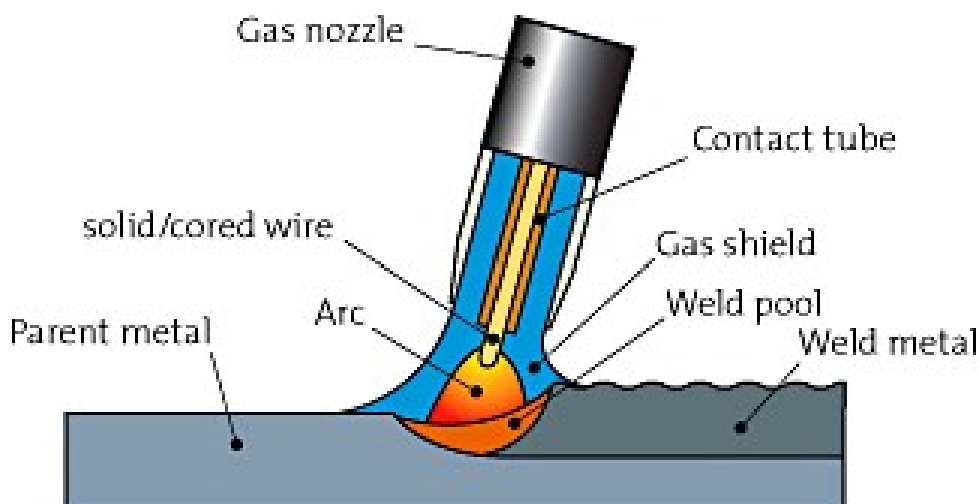
3.6 Vývoj metody svařování 131/135

- 1) **Produktivita svařování:** došlo k vývoji vysokorychlostního posuvu tavící se elektrody. Svařování rotujícím obloukem.
- 2) **Zlepšení stability procesu:** vyvinutí nových svářecích zdrojů s vysokými dynamickými parametry včetně rychlé proudové reakce. Nové ochranné plyny na bázi argonu.
- 3) **Zvýšení kvality svarového spoje:** důraz na čistotu ochranné atmosféry a vývoj nových přídavných materiálů.
- 4) **Zvýšení hygienických podmínek:** snížení škodlivých účinků ochranného plynu. Plyny s nižší emisní zónou [3].

3.7 MIG/MAG svařování a jeho charakteristické vlastnosti

Mezi hlavní přednosti obloukového svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou patří.

- 1) Vysoká produktivita a hospodárnost.
- 2) Dobrá manipulovatelnost při různých polohách svařování.
- 3) Nevyžaduje podporu přídavných tavidel.
- 4) Možnost svařování ručně, mechanizovaně nebo automatizovaně.
- 5) Příznivá deformace po svařování.
- 6) Dostupnost svařovací techniky a snadné skladování ochranných plynů.
- 7) Svařitelnost různých běžně užívaných konstrukčních materiálů.
- 8) Nízká finanční nákladnost na zavedení technologie [3].



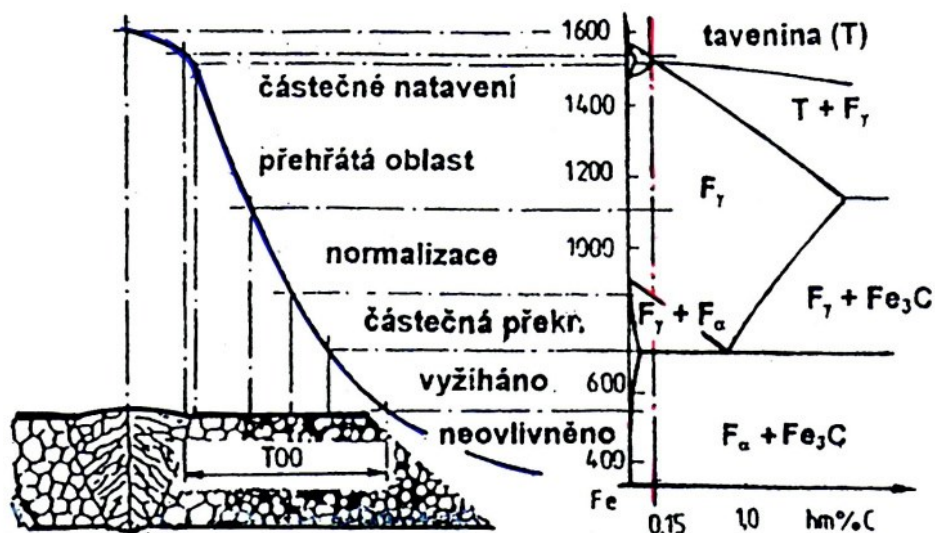
Obrázek č. 8- MIG/MAG svařování [4]

Parent metal – základní materiál; solid – cored wire – přídavný materiál; Arc – elektrický oblouk; Gas nozzle – plynový hořák; Contact tube – kontaktní trubice; Gas shield – ochranný plyn; Weld pool – svarová lázeň; Weld metal, svarová housenka

3.8 Princip metody svařování MIG/MAG

U svařování 131/135 je zdrojem tepla elektrický oblouk, který hoří mezi přídavným materiálem ve formě drátu a materiálem základním v prostředí inertního, nebo aktivního plynu dle užití technologie ochranného plynu. Jedná se o svařování tavné. Za pomoci lokálního natavení svarové plochy základního materiálů a odtavením materiálů přídavného, který je dodáván skrze svařovací hubici se vytváří svarová lázeň. Svarová lázeň, která postupně chladne, vytváří požadované fyzikální vazby spojovaných materiálů. V průběhu chladnutí dochází ke zpevňování svarového kovu. Zpevňování je v souladu se změnami vlastností kovu způsobenými změnou teploty. V daných fázích ohřevu a následného ochlazování dochází u 131/135 svařování ke specifickým metalurgickým změnám. Průběh těchto změn může přímo ovlivňovat výslednou strukturu a mechanické vlastnosti svařovaného materiálu. Svařování v ochranných plynech tavící se elektrodou se díky této podstatě řadí mezi metalurgické způsoby spojování kovových materiálů [3].

Na obrázku č. 9 tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje včetně části metastabilního diagramu Fe – Fe₃C.

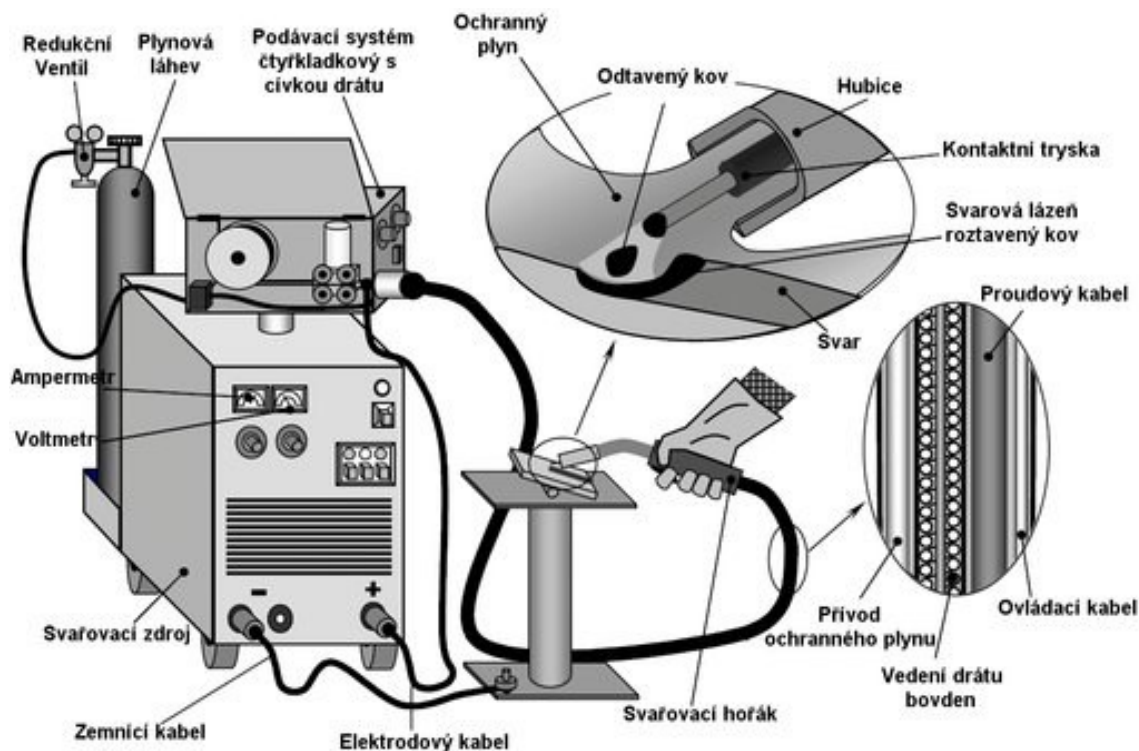


Obrázek č. 9- TOO při svařování [5]

3.9 Svařovací zařízení pro realizaci svarového spoje

Hlavním a zároveň nejdůležitějším komponentem je svářecí zdroj, nad který bývá umístěn mechanismus pro plynulé podávání přídatného materiálu v podobě navinutého drátu. Na svařovací zdroj je připojen svařovací hořák, do kterého je přiváděna ochranná atmosféra, která je skladována ve speciálních tlakových lahvích s redukčním ventilem.

Redukční ventil slouží ke snížení tlaku, který je v láhvi na tlak pracovní. Elektrodový, tedy kladný vodič je aktivně připojen na svářecí hořák, pro dokončení zapojení elektrického obvodu je nutné zapojení zemního vodiče, který může být připojen přímo na svařovanou součást či na svařovací stůl. Svařovací zdroje zpravidla obsahují řídicí panel pro snadnou obsluhu a rychle nastavení svařovacích parametrů včetně druhu přenosu svařovacího proudu. Na obrázku č. 10 schématické znázornění svařovacího zařízení pro svařovací technologii 131/135 [3].



Obrázek č. 10 - 131/135 svařovací zařízení [6]

3.10 Svařování metodou MIG (131)

Metal Inert Gas, poloautomatické svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou v inertním plynu. Tato metoda nese číselné označení 131. Jedná se o obloukovou metodu svařování, tedy zdrojem tepla je elektrický oblouk. U metody 131 vzniká elektrický oblouk mezi tavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranný plyn je inertní, tedy jeho funkce je pouze ochranná. Slouží k zamezení vstupu okolní atmosféry do svarové lázně během svařování. Název inertní plyn je často nahrazován pojmem netečný, jelikož plyn nevytváří žádné chemické reakce se svarovým spojem. Jako inertní ochranný plyn je nejčastěji užíván Argon, nebo směsi Argonu + Helia [8].

3.11 Svařování metodou MAG (135)

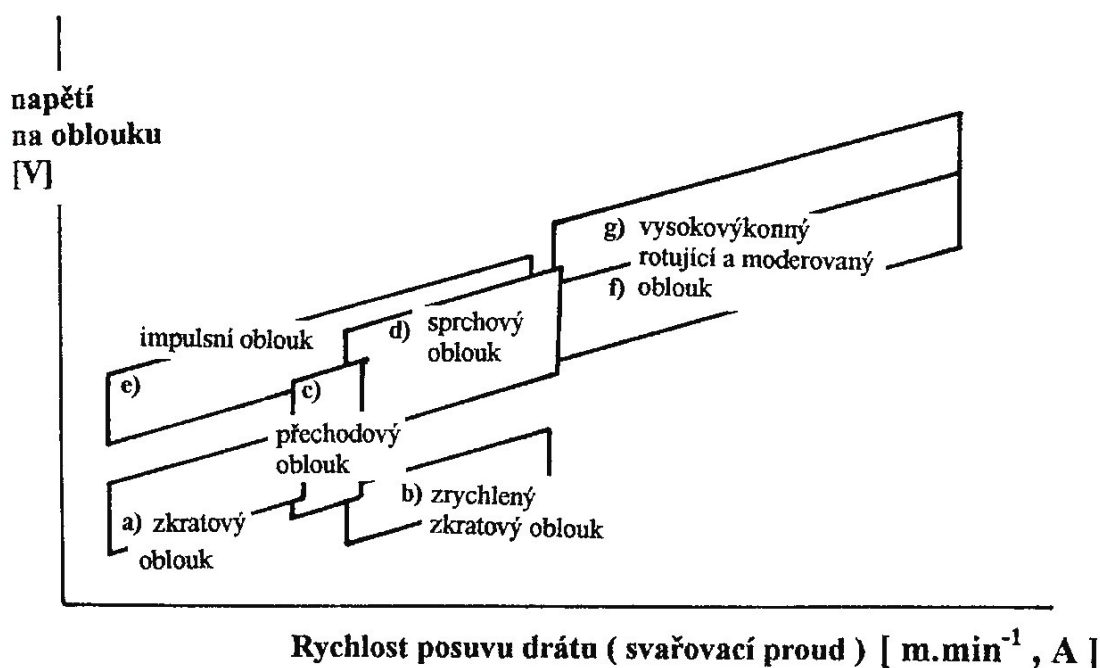
Metal Active Gas, neboli poloautomatické svařování v aktivní ochranné atmosféře tavící se elektrodou. Způsob hoření elektrického oblouku je totožný s metodou svařování 131. Důležitou a jedinou odlišností je pouze užití jiné ochranné atmosféry. Na rozdíl od metody 131, kde plyn pouze zamezuje vstupu okolní atmosféry, zde navíc dochází k chemické reakci ve svarové lázni. Dochází tedy k aktivnímu podílu na procesech, které probíhají v roztavené svarové lázni. Nejčastěji se užívá ochranné atmosféry CO_2 , Argon + CO_2 a Argon + O_2 [8].

3.12 Přenos kovu v oblouku

Přenos kovu v oblouku patří mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Jednotlivé oblasti přenosu kovu jsou závislé především na svařovacích parametrech, a to na svařovacím proudu a napětí. Další aspekt ovlivňující přenos kovu je volba složení ochranného plynu. Na obrázku č. 11 rozdělení přenosu kovu v oblouku dle závislosti napětí na oblouku/ rychlost posuvu drátu [20].

Rozdělení přenosu kovu v oblouku

- Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu.
- Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem.
- Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty.
- Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem.
- Impulzní bezzkratový oblouk.
- Modernizovaný bezzkratový přenos.
- Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu [20].



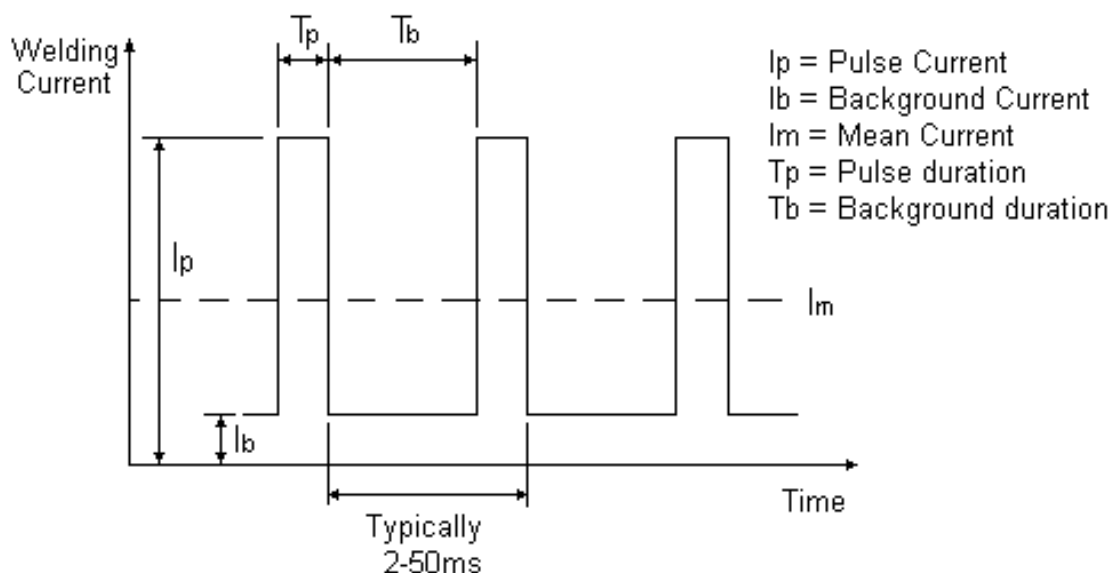
Obrázek č. 11- přenos kovu v oblouku [20]

3.13 Pulzní přenos svařovacího proudu

Pulzní přenos svařovacího proudu je užíván v širokém rozsahu tepelného příkonu. Největší přínos pulzní metoda zaznamenává u svařování velmi tenkých tloušťek materiálu,

kde by klasické způsoby přenosu kovu nebyly realizovatelné. Přenos kovu je realizován v podobě kapek, které jsou přímo závislé na frekvenci pulzů svařovacího zařízení.

Pulzní přenos se vyznačuje vysokou stabilitou, z které vyplývá pouze mírný rozstřík svarového kovu. Pulzní svařování 131/135 je variantou konvenčního procesu svařování při kterém dochází ke změně výkonu svařovacího proudu. Pulzní svařování bylo původně zavedeno pro řízení přenosu kovů při nízké střední proudové úrovni tím, že byly ukládány krátkodobé vysoké proudové impulsy. Oblouk je udržován nízkým proudem, ke kterému jsou přidávány impulsy vysokého proudu. Frekvence impulsů a doba jejich trvání jsou nastaveny obsluhou tak, aby bylo dosaženo požadovaného tepelného příkonu a optimální velikosti svarové lázně. Na obrázku č. 12 znázornění principu pulzního přenosu.



Obrázek č. 12- Pulzní přenos svarového kovu [3]

Pulse Current- pulzní proud; Background Current- sekundární proud; Mean Current- průměrný proud; Welding Current- svařovací proud; time- čas; Background duration- sekundární šířka pulzu; Pulse duration- šířka pulzu

Moderní svařovací zdroje umožňují použití široké škály pulzních amplitud, trvání a průběhů při frekvencích od několika hertzů až po několik set hertzů. Pulzní amplituda a doba trvání jsou nejlépe kombinovány k roztavení a oddělení jedné kapky stejného, nebo mírně menšího průměru, nežli je drát elektrody. Šířka impulsu má časový interval od 0,2 do 5 ms. Frekvence impulsů se obecně pohybuje v rozmezí 25 – 500 Hz [20].

Výhody Pulzní přenos svařovacího proudu

- Efektivní hodnota impulsního proudu je nižší než u konstantního, a tím dochází ke snížení vneseného tepla a výsledné deformace.
- Lze svařovat tenké plechy i polohové svary bezzkratovým přenosem.
- Vysoký impulsní proud taví i dráty větších průměrů.
- Výkon navážení se pohybuje mezi 2 – 5 kg/hod.
- Pravidelná jemná kresba povrchu svarové housenky.
- Vhodný přenos pro svařování hliníku a jeho slitin i vysokolegovaných ocelí.
- Možnost nastavení proudu, napětí, frekvence a amplitudy, díky kterým zdroj umožňuje široké aplikační možnosti.

3.14 Ochranné plyny pro svařování MIG/MAG

Při volbě správného ochranného plynu je nutné zvážit technické i ekonomické požadavky. Ochranné plyny se užívají jednokomponentní nebo vícekomponentní. Podle procentuálního podílu složek ochranného plynu, lze plyny dělit na tyto účinky:

- **S oxidačním účinkem.**
- **Neutrálním vlivem.**
- **Nauhlíčujícím vlivem [3].**

Při svařování metodou 131/135 požadujeme od ochranného plynu tyto základní funkce:

- a) Zabezpečuje ochranu konce tavící se elektrody, z něj odtavovaných a obloukem přecházejících kapek tekutého kovu, svarové lázně a vysoko ohřátých oblastí základního materiálu, před škodlivými účinky okolní atmosféry.
- b) Vytváří příznivé podmínky pro zapálení elektrického oblouku, stabilní podmínky pro jeho výsledné hoře a plynulý přechod svarového kovu.

Základní složky pro ochranné plyny jsou používány Argon (Ar) a Oxid uhličitý (CO₂). Jako další složky užívané u vícesložkových plynů se používají na bázi Argon s Héliem, Oxid uhličitý a kyslík [3].

Ochranné plyny u MIG/MAG svařování výrazně ovlivňují:

- a) Tepelný výkon oblouku.
- b) Přenos kovu v oblouku.

- c) Chemické složení svaru.
- d) Tvarové vlastnosti svarového spoje.
- e) Celistvost a užitkové vlastnosti svarového spoje.
- f) Produktivitu a hospodárnost [3].

Argon (Ar) 131

Jedná se o jednoatomový plyn bez barvy a zápachu. Tento prvek se vyznačuje velmi nízkou tepelnou vodivostí a také nízkým ionizačním potenciálem, který se pohybuje na hodnotě 15,8eV. Argon podporuje snadné zapálení elektrického oblouku a jeho stabilní hoření. Díky větší měrné hustotě, která je $1,784 \text{ kg.m}^{-3}$ je argon těžší než vzduch, a proto působí ochranným účinkem proti vstupu okolní atmosféry do svarové lázně [3].

Výroba technického argonu se provádí za pomoci okolní atmosféry, v které je argon rozptýlen v podílu 0,94 %. Pro technické účely je argon dodáván v tlakových lahvích o tlaku 15 až 20MPa v plynném stavu. Láhve jsou dodávány v objemech 20, 40 a 50 litrů. Argon je dodáván v různých čistotách, které jsou přímo závislé na jeho kupní ceně [3].

- Používá se pro svařování hliníku a jeho slitin, mědi, titanu a slitin titanu.

Oxid uhličitý (CO₂) 135

Bezbarvý plyn bez zápachu, avšak specifické chuti, která je velmi kyselá. Oxid uhličitý je při normálním tlaku plynem inertním, avšak při překonání teploty 700 °C dochází k chemickému rozpadu na oxid uhelnatý (CO) a kyslík (O₂). Tyto dvě složky poté působí aktivním účinkem. Měrná hustota oxidu uhličitého je $1,965 \text{ kg.m}^{-3}$ s nízkým ionizačním účinkem 1404 eV [3]. Oxid uhličitý je možno užívat při svařování jako jednokomponentní plyn, nebo jako složka u plynu směsného. Nejčastější kombinací oxidu uhličitého ve směsných plynech bývá argon. Skladován je nejčastěji v tlakových lahvích o objemu 40 litrů, kde je uskladňován v tekutém stavu s přetlakem 5 MPa. Plnění oxidu uhličitého vždy probíhá na úroveň 60–80 % reálného objemu láhve. Při odpařování dochází k prudkému ohřívání okolí, což při intenzivním odběru může zapříčinit jeho zamrzání. Pro zamezení této skutečnosti se užívají redukční ventily s ohřevem. Předností je převážně jeho nízká nákupní cena [3].

- Používá se pro svařování nízkolegovaných a nelegovaných ocelí, není vhodný pro svařování vysoce legovaných ocelí nebo ocelí austenitických.

Argon (Ar) + Oxid uhličitý (CO₂) 135

Ekonomicky náročnější než čistý oxid uhličitý, avšak díky jeho vylepšeným vlastnostem ve větších provozech, kde je kladen důraz na kvalitu se užívá nejčastěji. Procentuální podíl obsahu oxidu uhličitého v této směsi je limitován mezní hodnotou 25 %. Nad touto hodnotou ztrácí argon ve směsi své vlastnosti a v podstatě by se jednalo o svařování v ochranné atmosféře čistého CO₂.

- Používá se pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí [8].

Argon (Ar) + Kyslík (O₂) 135

Směsný ochranný plyn, který je tvořen argonem a kyslíkem s obsahem do 5 %. Užití nalézá u svařování vysokolegovaných ocelí a ocelí austenitických. Nejpoužívanější plyny jsou: 97 % Ar + 3 % O₂ a 99 % Ar + 1 % O₂ [8].

Argon (Ar) + Helium (He) 131

Jedná se o inertní ochranný plyn, který se užívá výhradně v automatizovaném a robotizovaném svařování. Obsah helia ve směsném plynu může dosahovat až 95 %. Takto vysoký obsah helia zapříčiní vysokou teplotu hoření oblouku, což nám vytvoří vhodné podmínky zejména pro ruční svařování. Jelikož je helium velmi drahý plyn, nejčastěji se užívá směs s obsahem 70 % Ar + 30 % He.

- Používá se převážně u svařování hliníku a mědi stejně jak je tomu u čistého argonu [8].

Rozdělení ochranných plynů dle počtu komponentů

- a) **Jednokomponentní** - (Argon (Ar), Oxid uhličitý (CO₂), Helium (He)).
- b) **Dvoukomponentní** - (Argon + Oxid uhličitý, Argon + kyslík, Argon + helium).
- c) **Tříkomponentní** - (Argon (Ar) + Oxid uhličitý (CO₂) + Kyslík (O₂), Argon (Ar) + Helium (He) + Oxid uhličitý (CO₂), Argon (Ar) + Helium (He) + Kyslík (O₂)).
- d) **Čtyřkomponentní** - (Argon (Ar) + helium (He) + oxid uhličitý (CO₂) + Kyslík (O₂)) [3].

Rozdělení ochranných plynů dle chemické aktivity

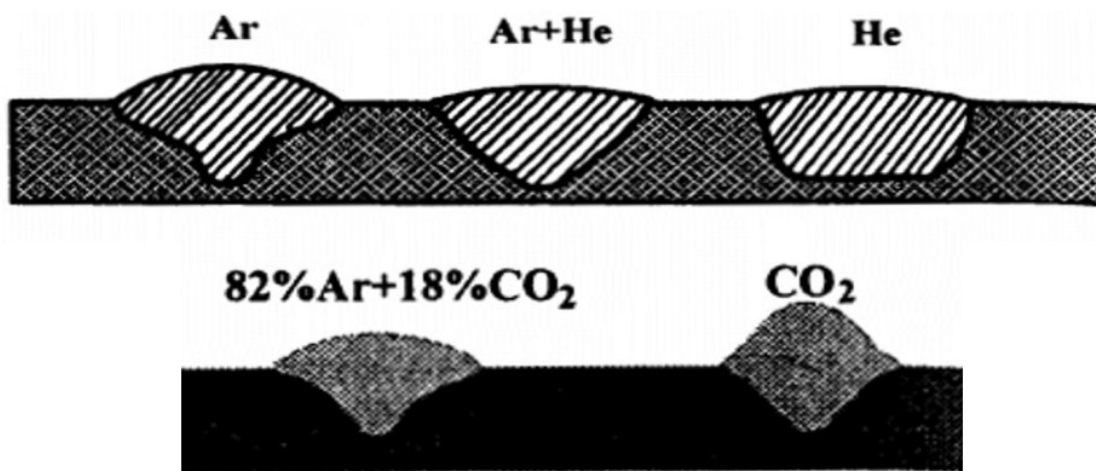
- **Skupina I** – inertní plyny.
- **Skupina M** – oxidační plyny na bázi argonu.
- **Skupina R** – redukční plyny na bázi argonu.
- **Skupina C** – oxidační plyny na bázi oxidu uhličitého.
- **Skupina F** – nereagující plyny [11].

Skupina M – oxidační ochranné plyny na bázi argonu dělení dle míry oxidace

- **M1** - mírně oxidační plyny.
- **M2** - středně oxidační plyny.
- **M3** - silně oxidační plyny [11].

3.15 Odlišnosti závaru při použití inertního nebo aktivního plynu

Vliv ochranného plynu má zásadní vliv na formování svarové housenky. Jednotlivé tvarové odlišnosti jsou znázorněny v závislosti na užitém plynu na obrázku č. 13.



Obrázek č. 13- odlišnosti při užití aktivního a inertního plynu [3]

3.16 Bezpečnostní předpisy pro svařování MIG/MAG

Při svařování je nutné dbát na bezpečnostní předpisy. Všeobecné ustanovení pro tavné svařování je souhrnně popsáno v normě ČSN 05 0600 - Svařování. Bezpečnostní ustanovení pro svařování kovů. Projektování a příprava pracovišť. Další významnou normou zabývající se bezpečnostními předpisy přímo pro obloukové metody svařování je norma ČSN 05 0630 – Svařování. Bezpečnostní ustanovení pro obloukové svařování kovů [3].

U tavného svařování tavící se elektrodou v ochranných plynech mohou vzniknout tato nebezpečí:

- Nebezpečí úrazu elektrickým proudem, přímým popálením od tavícího se kovu, rozstřikem svarového kovu, úrazem pohybující se části svařovacího zařízení, zejména však u automatizovaného procesu výroby.
- Nebezpečí poškození zdraví specifickými faktory, vliv svářecích dýmů, vliv ochranných atmosfér, aerosol a kovových par.

- Nebezpečí poškození zdraví vlivem nespecifikovaných faktorů, vliv mikroklimatických podmínek, nadměrná fyzická či psychická únava a nedostatečné osvětlení pracoviště [3].

3.17 Svařovací zdroj Fronius TransPuls Synergic 5000

Pro automatizované svařování rotoru podávače se užívá svařovací zdroj firmy Fronius. Zdroj TransPuls Synergic 5000 je digitalizovaný a mikroprocesorem řízený svařovací zdroj pro MIG/MAG svařování pro krátký, sprchový a impulzní oblouk. Jedná se o velmi výkonný svařovací zdroj, který dosahuje proudového výkonu až 500 A. Jelikož svařovací zdroj Fronius obsahuje multiprocesní provoz svařování, je vhodný pro svařování MIG/MAG, WIG a pro svařování obalenou elektrodou v ručním i automatizovaném provozu. Na obrázku č. 14 svařovací zdroj Fronius TransPuls Synergic 5000 [7].



Obrázek č. 14- Fronius TransPuls Synergic 5000 [7]

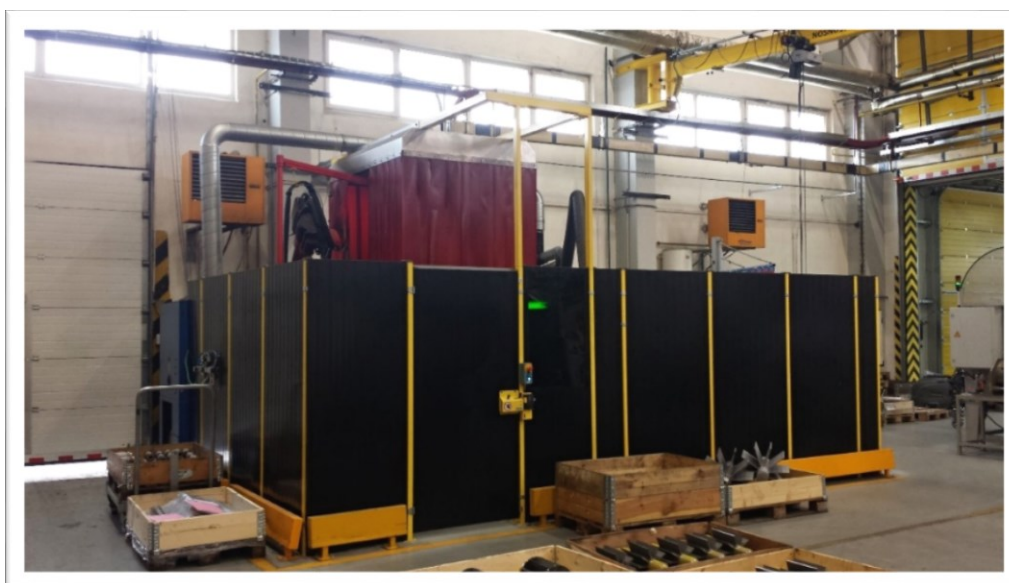
Zdroje se vyrábějí v různých variantách. Zásadní odlišnosti jsou ve výkonových řadách a podavači přídatného materiálu. Svařovací zdroj firmou Bühler CZ je vybaven externím podavačem přídatného drátu, který je umístěn na konzolovém držáku přímo nad svařovací zdroj. V tabulce 8 technické specifikace svařovacího zdroje.

Tabulka 8- Fronius TransPuls Synergic 5000 [7]

Parametry svařovacího zdroje Fronius TransPuls 5000	
Sít'ové napětí	3 x 400 V
Frekvence sítě	50 / 60 Hz
Trvalý primární proud (100 %)	18 - 29,5 A
Trvalý primární výkon (kVA)	13,1 kVA
Účinnost	90 %
Rozsah svařovacího proudu MIG/MAG	3 - 500 A
Pracovní napětí MIG/MAG	14,2 - 39,0 V
Certifikace	CE, CSA

3.18 Automatizované pracoviště Reis RV30-16

Pro zvýšení produktivity svařování je užíváno robotizované pracoviště od společnosti Reis Robotics. Rozhodnutí o zavedení robotizovaného pracoviště bylo přijato především kvůli zvýšení produktivity a zajištění opakované kvality svařovacího procesu. Produktivita procesu je jeden z nejdůležitějších faktorů automatizace. Automatizace je charakterizována užitím samočinných systémů pro řízení technologických zařízení a výrobního procesu. V dnešní době se stále nedá mluvit o komplexní automatizaci, u které by nebylo nutné lidského vstupu. Lidský faktor hraje významnou kontrolní a bezpečnostní roli. Automatizační proces pouze snižuje potřebu přítomnosti člověka ve výrobním procesu, nejedná se tedy o kompletní nahrazení. Na obrázku č. 15 náhled na pracovní prostor robotizovaného pracoviště.



Obrázek č. 15- Robotizované pracoviště Bühler CZ

3.18.1 Robotická ruka RV30-16

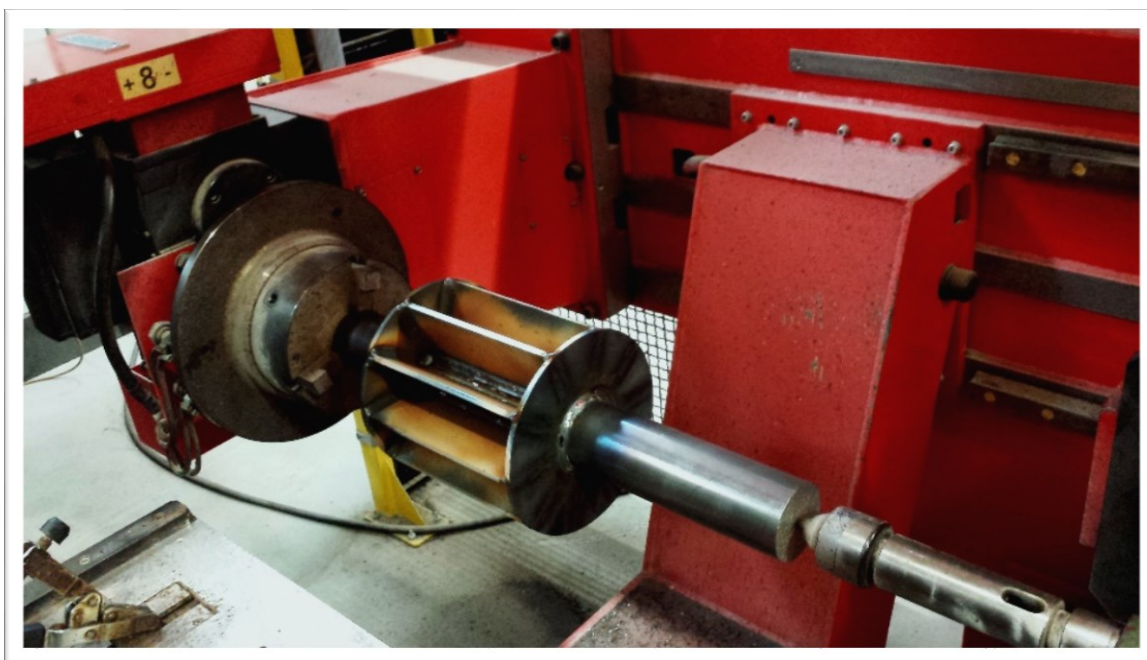
Robotická ruka Reis Robotics RV30-16 je univerzální robot, které nalézá uplatnění v širokém spektru strojírenských technologií. Nosnost je limitována maximálním zatížením, které činí 16 kg. Dodatečné zatížení třetí osou může dosahovat 20 kg. Na obrázku č. 16 vizualizace robotické ruky Reis robotics.



Obrázek č. 16- Reis Robotics RV30-16 [10]

3.18.2 Výhody užití svařovacího robota Reis Robotics RV30-16

- Integrované hlídání a kontrola procesu i jakosti pro maximální bezpečnost a spolehlivost procesu.
- Snímací systém (nalezení švu, sledování švu, detekce mezer) pro nejlepší kvalitu.
- Integrovaná transformace ve více osách pro optimální opracování dílů [9].



Obrázek č. 17- Reiss Robotics rotor podavače

Parametry robota Reiss Robotics RV30-16

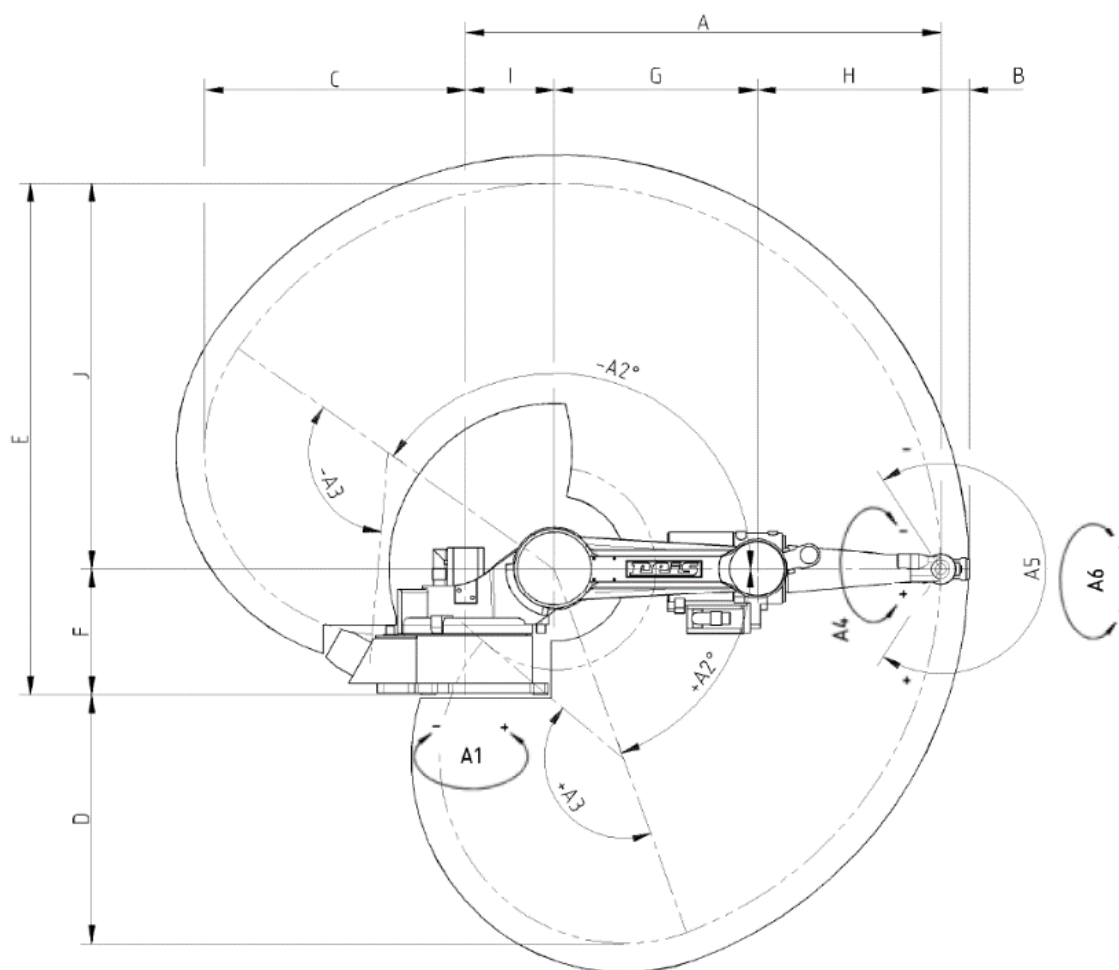
Tabulka 9- Reiss Robotics RV30-16 [10]

Reiss Robotics RV30 - 16	
Maximální nosnost	16 kg
Nosnost v ose A3	10 kg
Nosnost v ose A2	20 kg
Nosnost v ose A3 + A2	20 kg
Nosnost v ose A1	50 kg
Úhlová rychlost	
osa 1 (A1)	165 °/s
osa 2 (A2)	165 °/s
osa 3 (A3)	150 °/s
osa 4 (A4)	450 °/s
osa 5 (A5)	450 °/s
osa 6 (A6)	500 °/s
Opakovatelnost pohybu	±0,05 mm
Celková hmotnost	360 kg
Výkon	1,7 kVa
Odolnost dle EN 60529	IP65

Tabulka 10- Reiss Robotics RV30-16 pracovní prostor [10]

Rozsah pracovních os 1 až 6	A1		A2		A3		A4		A5	
RV30 - 16 (°)	±180°		+70°/-140°		150°/-120°		±210°		±123°	
Pracovní prostor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
RV30 - 16 (mm)	2100	100	1273	1257	2255	475	800	980	320	1780

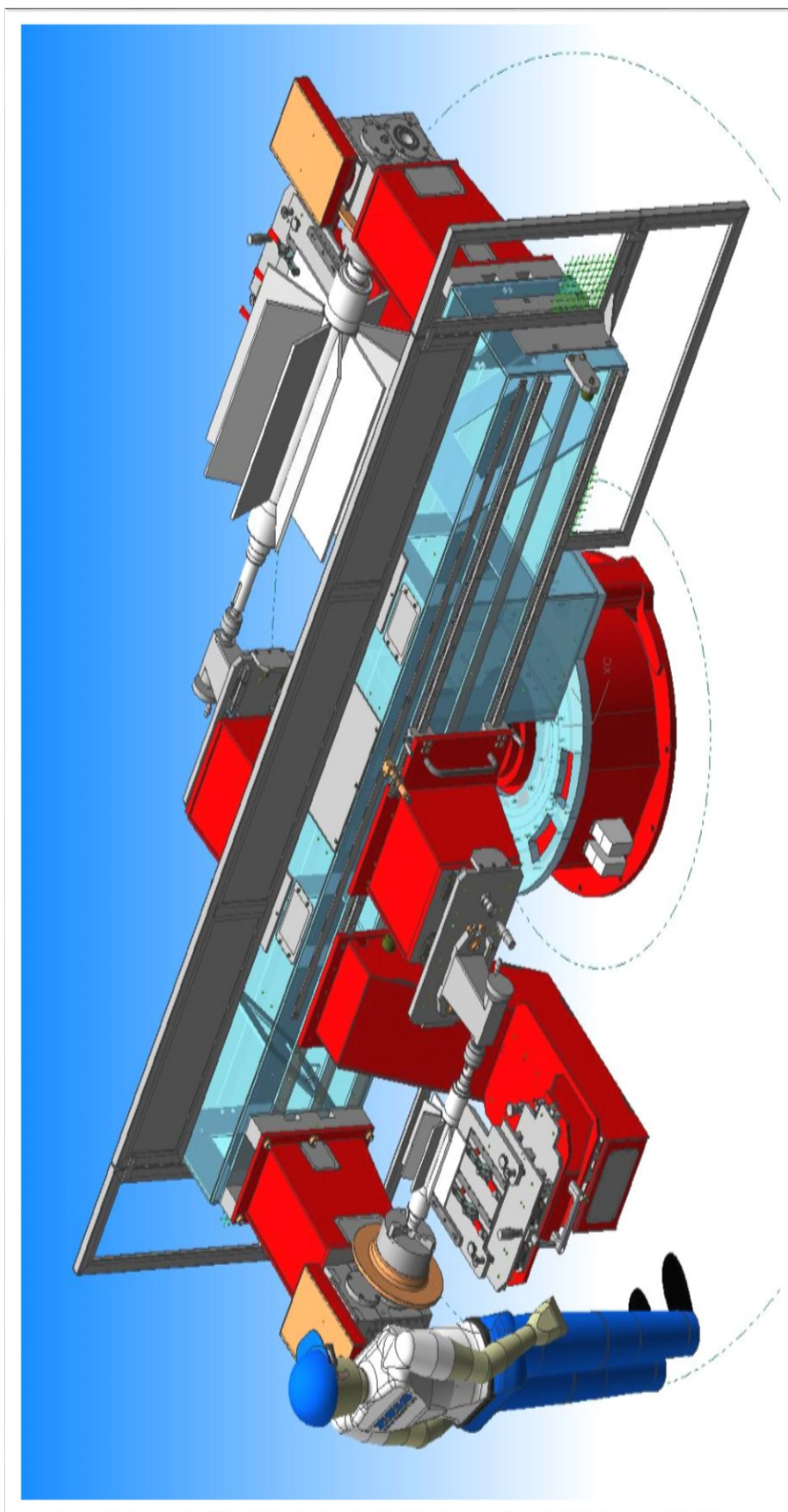
Pracovní prostor Reis RV30-16



Obrázek č. 18- Reis Robotics RV30-16 pracovní prostor [10]

3.18.3 Dvoupaletový systém Reis Robotics

Pro zvýšení produktivity práce je zaveden do výroby dvoupaletový otočný polohovací stůl. Polohovací stůl je zakázkově navrhnout právě pro svařování rotorů podavače produktu AirLock, kterými se zabývá diplomová práce. Společnost Bühler CZ provedla interní kontrolní měření pro kontrolu polohování zařízení. Naměřené odchylky jsou však pro proces svařování zanedbatelné a nemohou ovlivňovat stabilitu hoření elektrického oblouku. Na obrázku č. 19 model vypracovaný společností Reis Robotics.



Obrázek č. 19- Dvoupaletový systém Reis Robotics [14]

4 Popis výrobního stavu svařované konstrukce

Svařování rotorů podavače AirLock byl velmi nestabilní a neopakovatelný proces. Při svařování se vyskytovaly nepřipustné vady, které vedly ke zvyšování výrobních nákladů. Při pozorování dosavadního výrobního procesu byly zjištěny výrobní problémy, které jsou rozepsány níže.

4.1 Zamezení ulpívání rozstříku svarového kovu

Stávající řešení ulpívání rozstříku svarového kovu v okolí svarového spoje je minimalizováno aplikací keramického povlaku Loctite SF 7900. Tento keramický povlak vytváří mezivrstvu mezi svařovaným materiálem a rozstříkem svarového spoje. Dochází tedy ke snížení ulpívání na svařované součásti. Keramický povlak je aplikován před svařením na hubici svařovacího hořáku a dále je nanesen na nastehovanou svařovanou součást rotoru podavače AirLock.

Keramický povlak není však schopen kompletního zamezení ulpívání rozstříku svarového kovu na svařované součásti. Další závažnou nevýhodou aplikace tohoto ochranného přípravku je jeho pořizovací cena, která přímo navyšuje výrobní náklady.

4.2 Ochranná atmosféra

Pro svařování se užívá dvoukomponentní ochranné atmosféry. Jedná se o aktivní ochrannou atmosféru, která se podílí na procesech, které probíhají v roztaveném svarové lázni. Chemické složení je: 18,5 % CO₂ (oxid uhličitý) + 71,5 % Ar (argon).

4.3 Stávající svařovací parametry

Svařovací parametry se podílí na vzniku výsledné struktury svarového spoje. Vzniklá struktura je důležitá pro konečné mechanické vlastnosti spoje. Při chybně zvolených svařovacích parametrech může nastat nepříznivý vývoj fázových přeměn a svařovaný materiál ztratí svou plasticitu.

- Svařovací proud: 200 A.
- Svařovací napětí: 20 V.
- Rychlost svařování: 10 m/s.
- Korekce délky svařovacího oblouku: 0.

- Korekce pulzu: 0.
- Rychlost podávání drátu: 14 m/min.
- Průtok plynu: 30 l/min.
- Poloha svařování PB.
- Přenos kovu: pulzní.

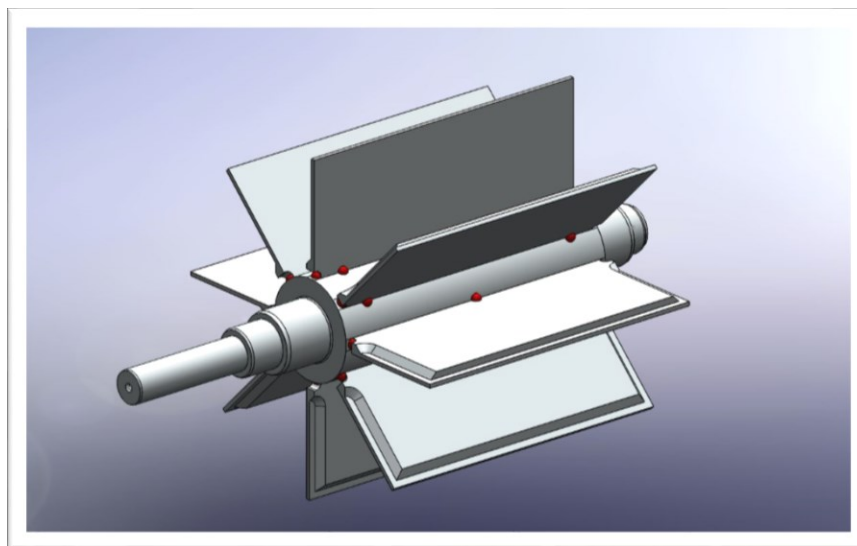
5 Návrh technologického postupu svařování rotoru

Byl vytvořen testovací soubor o pěti svařovacích rotorech, na kterých byly odzkoušeny odlišné svařovací metody a svařovací parametry. Mezi další nutná vylepšení patří korekce dráhy robotizované ruky se změnou geometrie svařovací hubice. Primární problém s rozstříkáním svarového kovu byl eliminován změnou nanášení keramického povlaku včetně korektního seřízení dávkovače uvnitř robotizovaného pracoviště. V neposlední řadě nedílnou součástí úpravy technologického postupu byly změny provedené ve svařovacích parametrech u svařovací technologie 135.

5.1 Úprava stehování před svařováním

Stehování je prováděno obsluhou automatizovaného pracoviště na polohovacím zařízení od firmy Reis Robotics. Pro určení optimálního technologického postupu byl vytvořen soubor šesti vzorků s odlišnou svařovací technologií a svařovacími parametry. Stehování je prováděno vždy v mezech, kdy se na jedné straně dvoupaletového otočného stolu provádí svařování. Tento mečas je dále využíván pro následné očištění svarových ploch.

Návrh stehovacích bodů pro svařovanou konstrukci



Obrázek č. 20- Stehovací body

Na obrázku č. 20 je znázorněn model svařované konstrukce, volba stehovacích bodů byla vytvořena v závislosti na tuhosti fixace lopatek na hřídel rotoru. Lopatky jsou vždy stehovány z čela do upravené svarové plochy, které fixují posunutí vůči hřídeli, další

body jsou vytvořeny 25 mm vždy od kraje a dále ve středu lopatky, které zabraňuje deformacím střední části svařované konstrukce.

Testovací soubor pro navržení optimálního procesu stehování

Vzorkování bylo prováděno pouze pro čelní stehování, kde docházelo vlivem nevhodně užitých technologie v místě stehování k degradaci výsledné struktury po svařování.

Vzorek č. 1

- Stehování metodou svařování 135 ($I = 250 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).
- Mezioperační očištění svarových ploch.
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 135 – 2 housenky ($I = 170 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).
 - **Výsledek – 1 nepřijatelná vada.**

Vzorek č. 2

- Stehování metodou svařování 135 ($I = 250 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$)
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 135 – 2 housenky ($I = 107 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$)
 - **Výsledek – 3krát nepřijatelná vada** (rozstřík svarového kovu, obtížné vyplnění kořenové vrstvy pomocí jedné svařovací housenky).

Vzorek č. 3

- Stehování metodou svařování 141 ($I = 160 \text{ A}$)
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 141 – 2 housenky ($I = 160 \text{ A}$)
 - **Výsledek – 1krát nepřijatelná vada** (zápaly, nevhodné polohování hořáku).

Vzorek č. 4

- Stehování metodou svařování 141 ($I = 160 \text{ A}$).
- Mezioperační očištění svarových ploch.
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 135 – 2 housenky ($I = 140 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).
- Vyplnění kořenové vrstvy mimo polohovací zařízení ve svislé poloze.
- Mezioperační očištění svarových ploch.
 - **Výsledek – bez vad.**

Vzorek č. 5

- Stehování metodou svařování 135 ($I = 220 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 135 – 1 housenka ($I = 140 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).

- Vyplnění kořenové vrstvy mimo polohovací zařízení ve svislé poloze.
- Mezioperační očištění svarových ploch.
 - **Výsledek – 3krát nepřijatelná vada.**

Vzorek č. 6

- Stehování metodou svařování 135 ($I = 220 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 141 – 2 housenky ($I = 140 \text{ A}$).
- Vyplnění kořenové vrstvy mimo polohovací zařízení ve svislé poloze.
- Mezioperační očištění svarových ploch.
 - **Výsledek – 3krát nepřijatelná vada.**

Nejlepších výsledků dosáhl testovaný vzorek s pořadovým číslem **4**. Na obrázku č. 21 je možno vidět připravený rotor ke vzorkování, obrázek č. 22 ukazuje provedené stehování dle vzorkovacího protokolu č. 4., který dosáhl nejlepších parametrů.

Fotodokumentace prováděného testování



Obrázek č. 21- Testovací vzorek 01



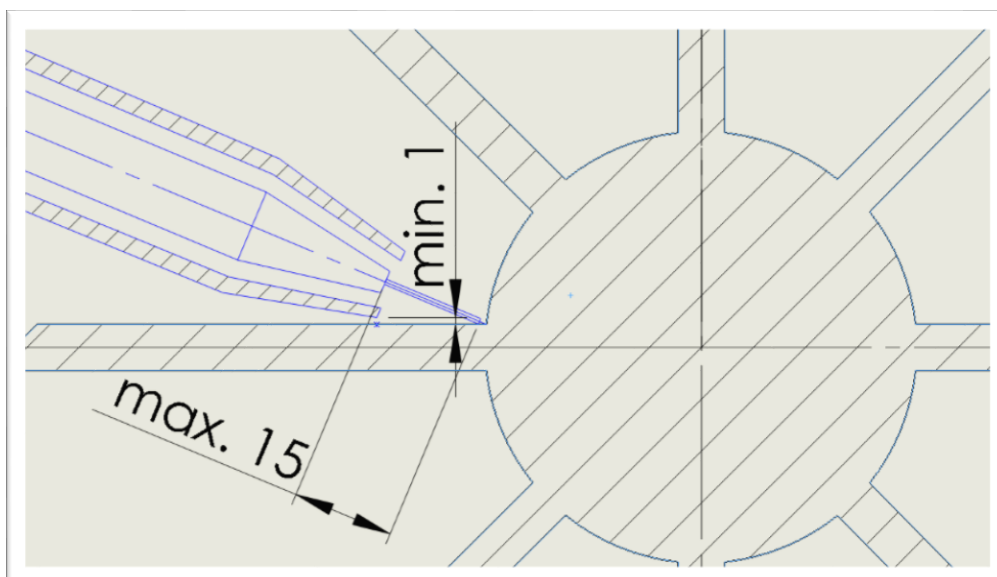
Obrázek č. 22- Testovaný vzorek 02

5.2 Aplikace ochranného keramického povlaku

Při svařování dochází k výraznému rozstříku svarového kovu, převážně u zapálení elektrického oblouku. Ke snížení ulpívání rozstříku je užíván ochranný keramický povlak Loctite SF 7900. Ochranný keramický povlak není však 100 % odolný vůči vnesenému teplu od svařování. Při aplikaci nástřiku na svařovanou konstrukci je jeho ochranná vlastnost značně degradována již po prvním podélném svaru. Dochází k postupnému odpařování a při svařování poslední lopatky je funkce téměř bez ochrany a dochází k ulpívání rozstříku svarového kovu na svařovanou konstrukci. Navrženo mezioperační nanášení ochranného keramického povlaku. Toto řešení přineslo značné zvýšení efektivity ochranného keramického povlaku, avšak přineslo zvýšení výrobního času. Nutné přerušení automatizovaného procesu a vstupu do svařovací komory. Značnou komplikací opakovaného nanášení povlaku je vnesené teplo od svařování. Nutná časová odstávka, která umožní efektivní nanášení ochranného keramického povlaku na svařovanou konstrukci.

5.3 Korekce volné délky drátu

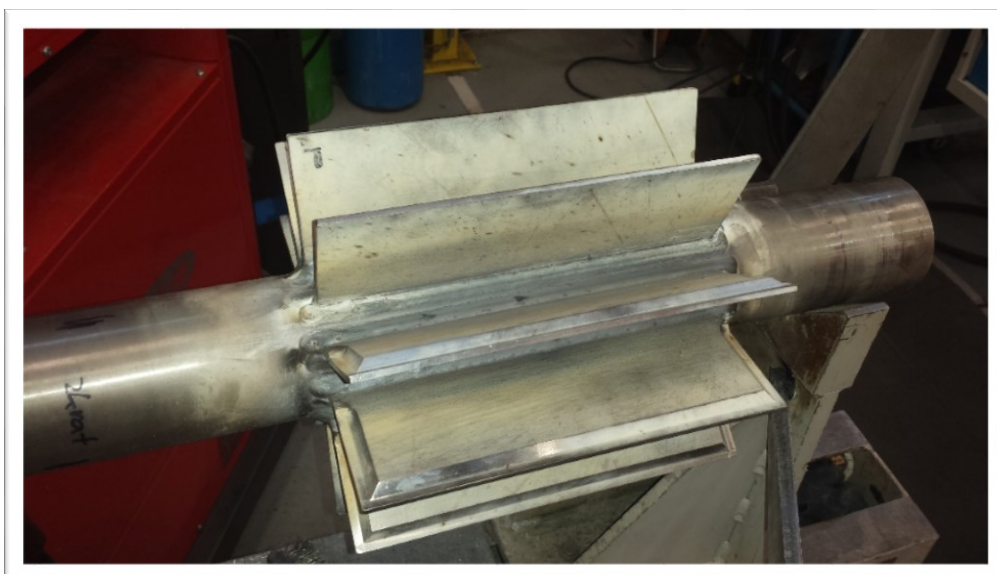
Volná délka drátu je měřena od konce kontaktního proudového průvlastku po elektrický oblouk. Jednoduché určení volné délky je rovno desetinásobku průměru drátu. Pro přesné určení délky je nutno užití výpočetního vzorce. Výchozí nastavení volné délky drátu bylo 20 mm. Pro přídatný drát ESAB OK Autorod 16.95 průměru 1 mm je vypočtená hodnota rovna hodnotě **13 mm**. Nastavení volné délky je limitováno konstrukčním prostorem svařované součásti. Pro optimální geometrii svařovacího hořáku není možno nastavení nižší hodnoty výběhu drátu než 15 mm. Při překročení této hodnoty dochází k zadrhávání svařovací hubice o lopatky svařované konstrukce. Zadrhávání je zapříčiněno rozstříkem svarového kovu, který natavuje styčný bod svařovací hubice a lopatky. Pro testované vzorky byla užita délka výběhu drátu **15 mm**. Na obrázku č. 23 znázornění nastavení výběhu délky drátu.



Obrázek č. 23- Korekce volné délky

5.4 Návrh svařovacího postupu

Byl vytvořen testovací vzorek, na kterém byly testovány odlišné svařovací parametry. Svařovaný rotor obsahuje 10 lopatek, což nám vytvořilo dvacet svarových housenek pro příčnou analýzu. Zkoušeny byly odlišné parametry včetně změn přenosu svarového kovu. Pro porovnání robotizovaného pracoviště s běžnou výrobou byly vytvořeny dva svarové spoje v ručním režimu svařování. Na obrázku č. 21,25 je testovací vzorek rotoru.



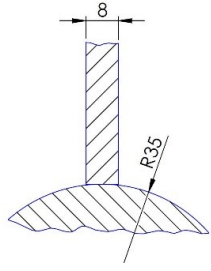
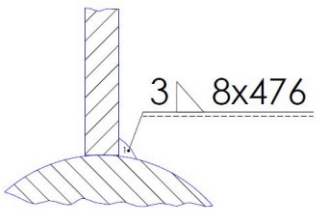
Obrázek č. 24- Testovací vzorek - 01



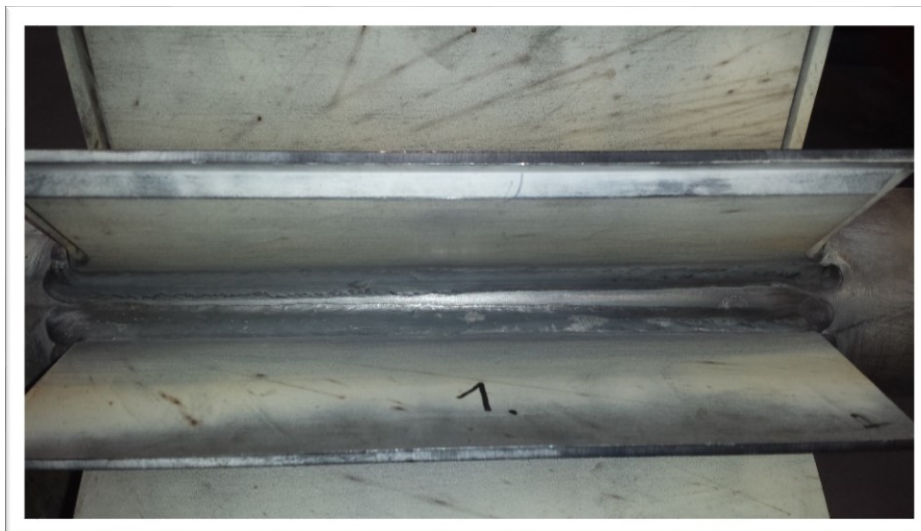
Obrázek č. 25- Testovací vzorek - 02

Svařovací postup č. 1

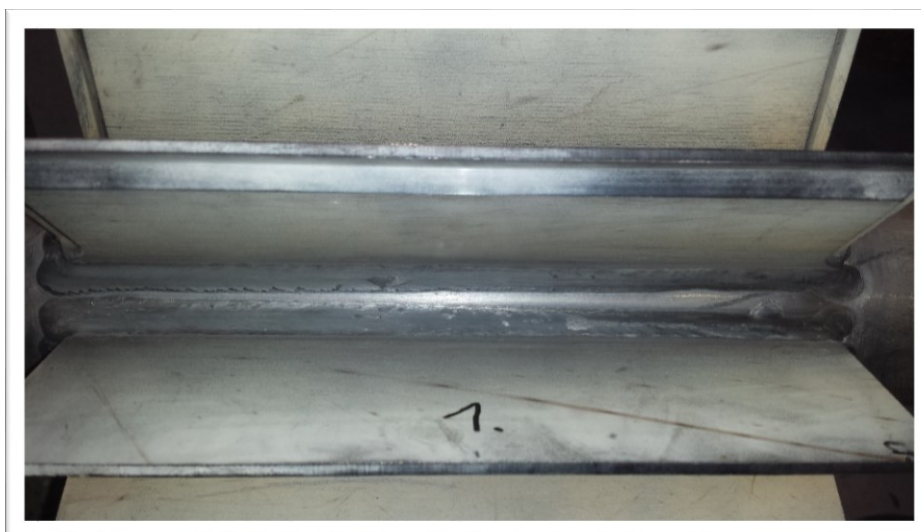
Tabulka 11- pWPS01 vzorek č. 1

pWPS - Předběžná specifikace postupu svařování										
Místo:	VŠB - TUO		Zkušební orgán nebo zkušební organizace:		—					
Výrobce:	Bühler CZ		Metoda přípravy a čistění:		—					
Jméno svařeče:	Lukáš Vacek		Specifikace základního materiálu:		X6CrNiTi 8-10					
Přenosu kovu:	Impulsní oblouk		Tloušťka materiálu (mm):		8					
Druh spoje a svaru:	Koutový svar		Vnější průměr (mm):		75					
pWPS číslo:	1		ploha svařování:		PB					
podrobnosti přípravy svaru:										
Návrh spoje					Pořadí svařování					
										
Podrobnosti svařování										
Vrstva	Metoda svařování	Rozměr přídavného kovu	Proud A	Napětí V	Druh polarity	Posuv drátu m/min	Postupová rychlost m/min	Tepelný přikon kJ/mm	Přenos kovu	Průtok plynu l/min
1	135	Ø1	282	20	DC/-	15m/min	10	0,799	puls	15
Korekce délky oblouku	Korekce pulsu									
1	0									
Označení přídavného materiálu a značka:					OK Autorod 16.95					
Speciální sušení při vyšší teplotě nebo sušení:					—					
Ochranný plyn / tavidlo:										
		Ochranné	2,5%CO ₂ +97,5%Ar							
		Ochranné pro kořen	2,5%CO ₂ +97,5%Ar							
Teplota přehřevu:					—					
Teplota Interpass:					—					
Teplota dohřevu:					—					
Tepelné zpracování:					—					
					Vypracoval:		Bc Lukáš Vacek			

Fotodokumentace vzorek č. 1



Obrázek č. 26- pWPS01 - 01



Obrázek č. 27- pWPS01 - 02



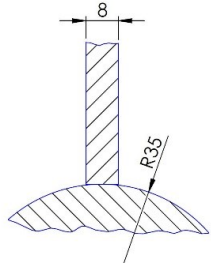
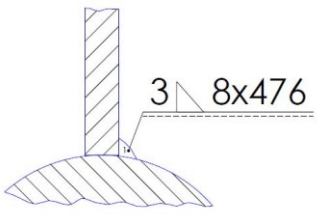
Obrázek č. 28- pWPS01 - 03

Svařování bylo prováděno v robotizovaném režimu s nastavením pulsního přenosu kovu. Svařovací parametry jsou zaznamenány v pWPS pro svařovací postup č. 1. Z vizuální zkoušky lze říci, že došlo k odstranění zápalu a trhlin v úvodní části svařování. Objevila se však nerovnoměrnost a nesouměrnost svarové housenky.

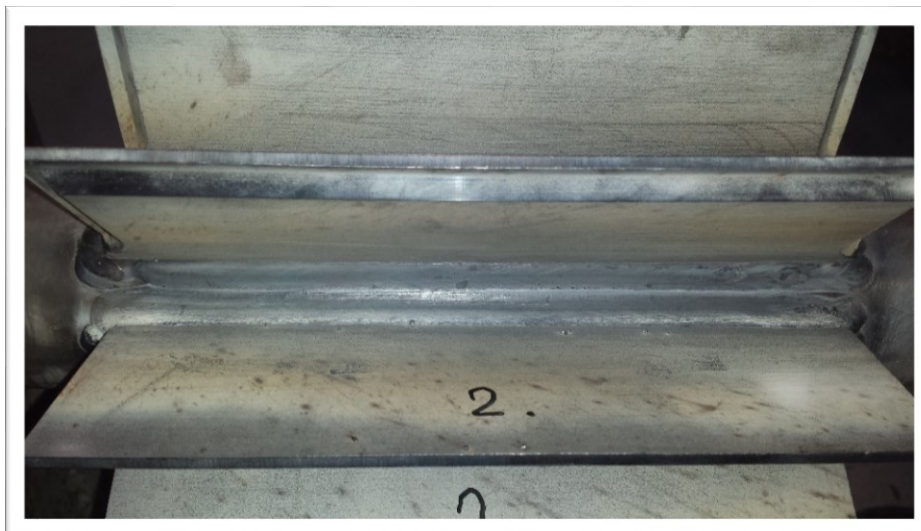
Byla vytvořena svarová housenka bez zjevných nepřijatelných vnějších vad. Hoření elektrického oblouku s pulsním přenosem kovu bylo stabilní na prvních dvou třetinách svařované konstrukce. V koncové části mírná nestabilita hoření doprovázená zvýšeným rozstříkáním svarového kovu. V celém průběhu probíhala vizuální kontrola tvaru a směru hoření elektrického oblouku. Na obrázku č. 26,27,28 fotodokumentace vzorku číslo 1 se zjevnou nerovnoměrností svarové housenky. V koncové části změna tvaru oblouku definovaná jako foukání oblouku. Foukání oblouku bývá zapříčiněno nevhodným umístěním zemnicího vodiče. Na robotizovaném pracovišti není možná rychlá změna umístění zemnicího vodiče. Dosavadní připojení je součástí upevňovacího sklíčidla na otočném dvoupaletovém stole. Pro odstranění foukání elektrického oblouku nutný zásadní vstup do konstrukce dvoupaletového systému.

Svařovací postup č. 2

Tabulka 12- pWPS02 vzorek č. 2

pWPS - Předběžná specifikace postupu svařování										
Místo:	VŠB - TUO		Zkušební orgán nebo zkušební organizace:		—					
Výrobce:	Bühler CZ		Metoda přípravy a čistění:		—					
Jméno svařeče:	Lukáš Vacek		Specifikace základního materiálu:		X6CrNiTi 8-10					
Přenosu kovu:	Zkratový		Tloušťka materiálu (mm):		8					
Druh spoje a svaru:	Koutový svar		Vnější průměr (mm):		75					
pWPS číslo:	1		ploha svařování:		PB					
podrobnosti přípravy svaru:										
Návrh spoje					Pořadí svařování					
										
Podrobnosti svařování										
Vrstva	Metoda svařování	Rozměr přídavného kovu	Proud A	Napětí V	Druh polarity	Posuv drátu m/min	Postupová rychlost m/min	Tepelný příkon kJ/mm	Přenos kovu	Průtok plynu l/min
1	135	Ø1	282	20	DC/-	15m/min	10	0,799	zkratový	15
Korekce délky oblouku	Korekce pulsu									
1	—									
Označení přídavného materiálu a značka:					OK Autorod 16.95					
Speciální sušení při vyšší teplotě nebo sušení:					—					
Ochranný plyn / tavidlo:										
		Ochranné	2,5%CO ₂ +97,5%Ar							
		Ochranné pro kořen	2,5%CO ₂ +97,5%Ar							
Teplota předehřevu:					—					
Teplota Interpass:					—					
Teplota dohřevu:					—					
Tepelné zpracování:					—					
					Vypracoval:		Bc Lukáš Vacek			

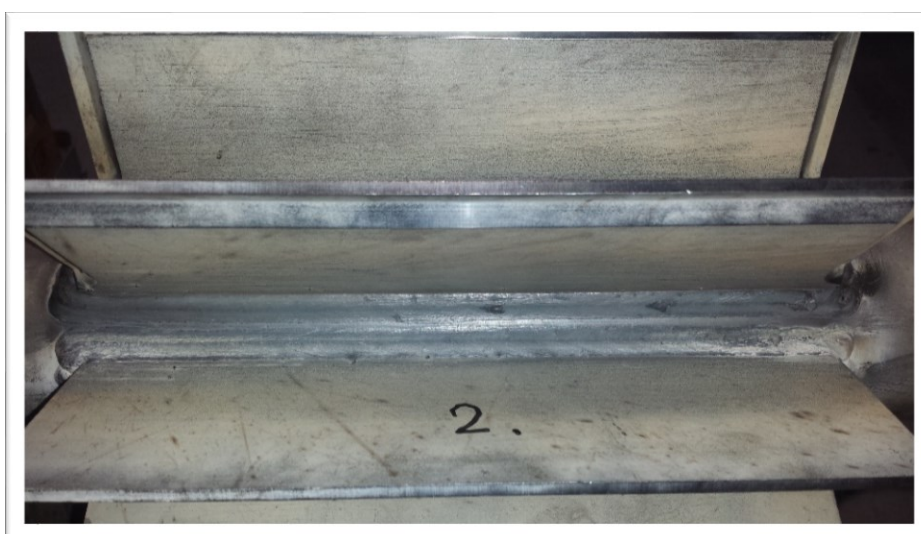
Fotodokumentace vzorek č. 2



Obrázek č. 29- pWPS02 - 01



Obrázek č. 30- pWPS02 - 02

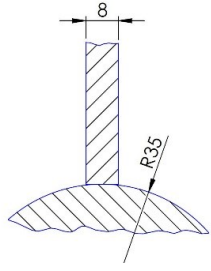
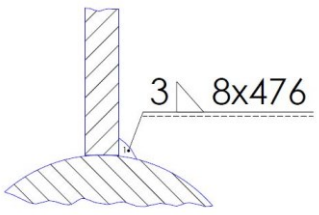


Obrázek č. 31- pWPS02 - 03

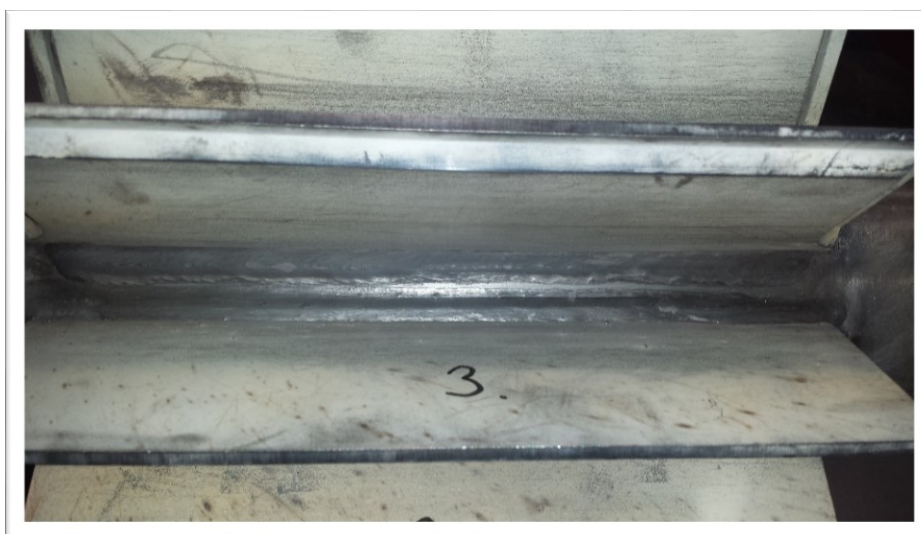
Svařováním zkratovým přenosem byl vytvořen rovnoměrný svarový spoj. Z vizuální kontroly neshledány žádné nepřípustné vady. Průběh svařování stabilní v celém rozsahu svařované konstrukce. Při svařování zvýšený rozstřík svarového kovu zapříčiněný metodou přenosu kovu. Avšak výsledné ulpívání kuliček svarového kovu není znatelné. Ochranný keramický povlak vytvořil vhodnou mezivrstvu proti ulpívání a po běžném mechanickém očištění je povrch lopatek rotoru téměř bez rozstříku. Na obrázku č. 29,30,31 vzorek svařovacího postupu č. 2 dle pWPS02.

Svařovací postup č. 3

Tabulka 13- pWPS03 vzorek č. 3

pWPS - Předběžná specifikace postupu svařování										
Místo:	VŠB - TUO		Zkušební orgán nebo zkušební organizace:	—						
Výrobce:	Bühler CZ		Metoda přípravy a čistění:	—						
Jméno svařeče:	Lukáš Vacek		Specifikace základního materiálu:	X6CrNiTi 8-10						
Přenosu kovu:	Zkratový		Tloušťka materiálu (mm):	8						
Druh spoje a svaru:	Koutový svar		Vnější průměr (mm):	75						
pWPS číslo:	1		ploha svařování:	PB						
podrobnosti přípravy svaru:										
Návrh spoje					Pořadí svařování					
										
Podrobnosti svařování										
Vrstva	Metoda svařování	Rozměr přídavného kovu	Proud A	Napětí V	Druh polarity	Posuv drátu m/min	Postupová rychlost m/min	Tepelný přikon kJ/mm	Přenos kovu	Průtok plynu l/min
1	135	Ø1	282	20	DC/ -	15m/min	10	0,799	zkratový	15
Korekce délky oblouku	Korekce pulsu									
5	—									
Označení přídavného materiálu a značka:					OK Autorod 16.95					
Speciální sušení při vyšší teplotě nebo sušení:					—					
Ochranný plyn / tavidlo:										
		Ochranné	2,5%CO ₂ +97,5%Ar							
		Ochranné pro kořen	2,5%CO ₂ +97,5%Ar							
Teplota předehřevu:					—					
Teplota Interpass:					—					
Teplota dohřevu:					—					
Tepelné zpracování:					—					
					Vypracoval:		Bc Lukáš Vacek			

Fotodokumentace vzorek č. 3



Obrázek č. 32- pWPS03

Vzorek č. 3 byl svařován zkratovým přenosem s korekcí délky oblouku. Důvod změny korekce oblouku do plusových hodnot byl pro snížení rozstříku svarového kovu, který se u zkratového přenosu vyskytoval. Zaznamenáno pouze mírné snížení rozstříku svarového kovu. Svarový spoj bez výskytu nepřipustných vad dle vizuální kontroly. Na obrázku č. 32 vzorek č. 3 dle pWPS03.

6 Vady vznikající při svařování rotoru AirLock

Následně jsou uvedeny vady, které vznikaly při svařování rotoru podavače AirLock metodou svařování 135. Pro rozbor vzniklých vad při svařování rotorů AirLock byla užívána vizuální zkouška a makroskopická kontrola svarového spoje.

Vady ve svarech je nutno považovat za nebezpečné koncentrátoři napětí, které zvláště nepříznivě ovlivňují velikost meze únavy a za určitých podmínek se mohou stát také iniciátory křehkého lomu. Vadou výrobku se obecně rozumí každá odchylka od vlastností předepsaných technickými normami, technickými podmínkami případně smluvním vzorkem.

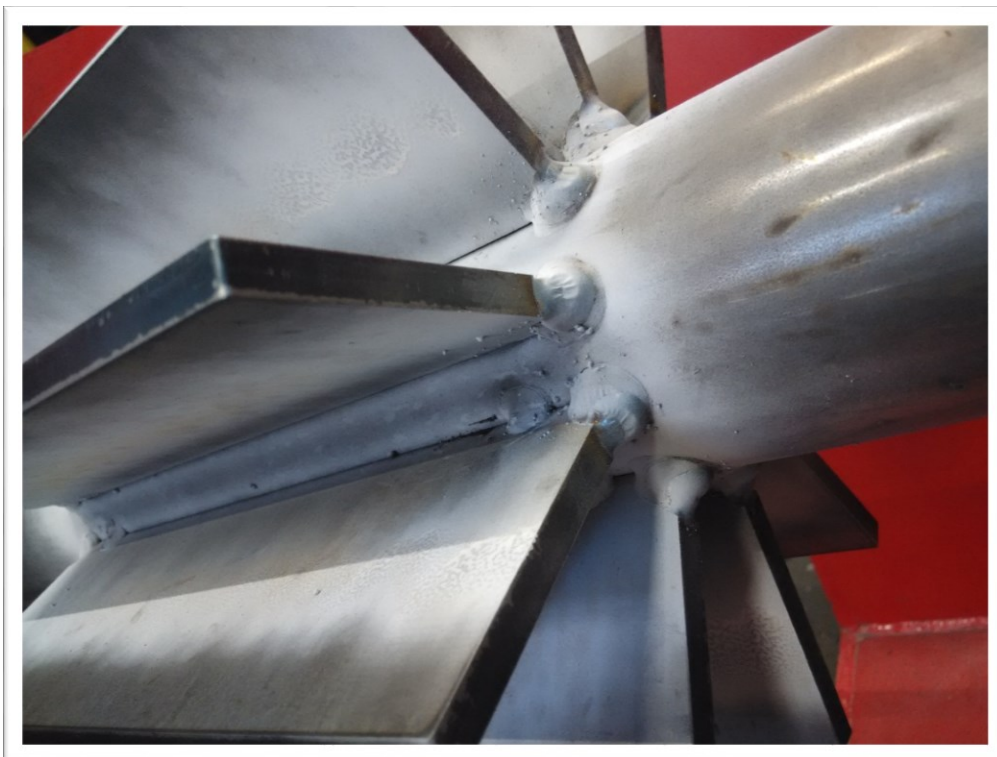
6.1 Rozstřík svarového spoje

Na obrázku č. 33,35 je viditelný značný rozstřík svarového kovu. Rozstřík svarového kovu může být způsoben špatně zvolenými svařovacími parametry, chybným složením ochranné atmosféry, nebo nedostatečnou indukčností. Nutné mechanizované opracování tryskáním.



Obrázek č. 33- Rozstřík svarového kovu

Na obrázku č. 34 je zřejmý rozstřík svarového kovu již po stehování. Nutné ruční dočistění rozstříku svarového kovu. Bílý povlak na povrchu svařované konstrukce je nanesený keramický povlak proti ulpívání kuliček svarového kovu.



Obrázek č. 34- Rozstřík svarového kovu již po stehování



Obrázek č. 35- Detail rozstřík svarového kovu

6.2 Odchylka dráhy svařovacího hořáku

Korekce dráhy robotizované ruky je velmi náročná operace, jelikož společnost Bühler CZ nevlastní licenci na software, který by umožňoval vizualizace dráhy při svařování. Programování robotizovaného pracoviště je prováděno pomocí programovacího panelu od

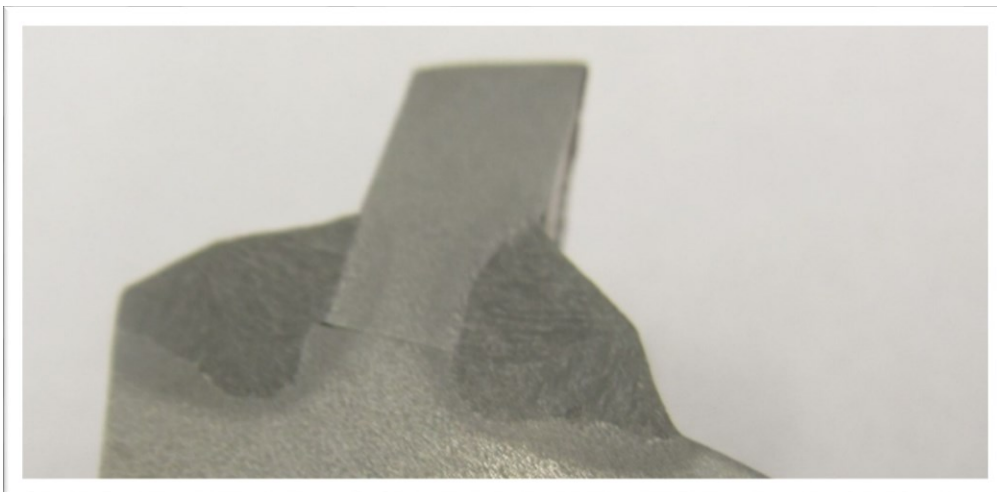
společnosti Reis Robotics. Na obrázku č. 36 je však zjevné chybné programování dráhy a výsledkem je neprůvar ve styčnickovém bodě konstrukce rotoru podavače.



Obrázek č. 36- Neprůvar svarového spoje

6.3 Neprovařený kořen svarového spoje

S problematikou korekcí drah je spojen i neprovařený kořen. Špatně zvolená poloha svařovacího hořáku vede k neprůvaru kořenové oblasti. Tato vada je nepřipustná a vizuální zkouškou neidentifikovatelná. Má však významný vliv na mechanické vlastnosti svarového spoje. Nápravné opatření korekce polohy svařovacího hořáku včetně změny svařovacích parametrů svařovacího zdroje. Na obrázku č. 37 neprovařený kořen svarového spoje.



Obrázek č. 37- Neprovařený kořen svarového spoje

6.4 Póry ve svarovém kovu

Svarový spoj disponuje homogenitou materiálu. Nehomogenita materiálu způsobena póry ve svarovém kovu způsobuje snížení mechanických vlastností a degraduje vlastnosti celé konstrukce. Póry a bubliny jsou objemové vady kulovitého nebo protáhlého tvaru, vyplněné plynem. Na obrázku č. 38 příčný řez rotorem AirLock. Příčinou vzniku vady bývá chybně vysušený přídavný materiál, vlhkost v plynu, nečistoty na svarových hranách, příliš dlouhý oblouk, vysoká rychlost svařování nebo rychlé tuhnutí lázně v důsledku nízkého svařovacího proudu a vysoké rychlosti svařování.



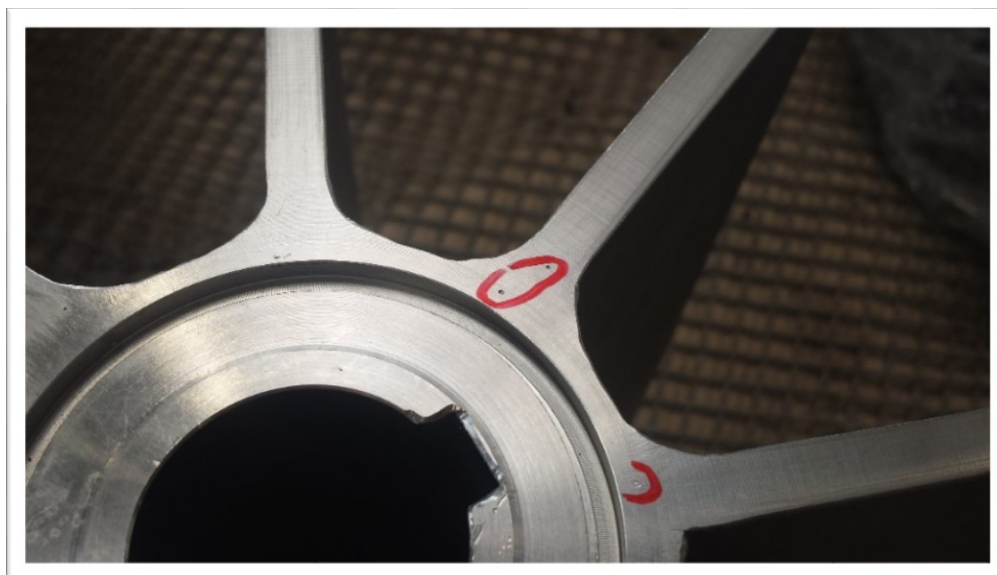
Obrázek č. 38- Póry ve svarovém kovu



Obrázek č. 39- Povrch svarového kovu

6.5 Bubliny ve svarovém kovu

Výskyt vnitřních vad kruhovitěho tvaru je znázorněn na obrázku č. 40. Obráběním čelních ploch rotoru dochází k odhalení těchto vad. Nutné nápravné navařování laserem. Zvýšení výrobních nákladů a komplikace s kooperační výrobou.



Obrázek č. 40- Bubliny ve svarové kovu

6.6 Kráterové trhliny

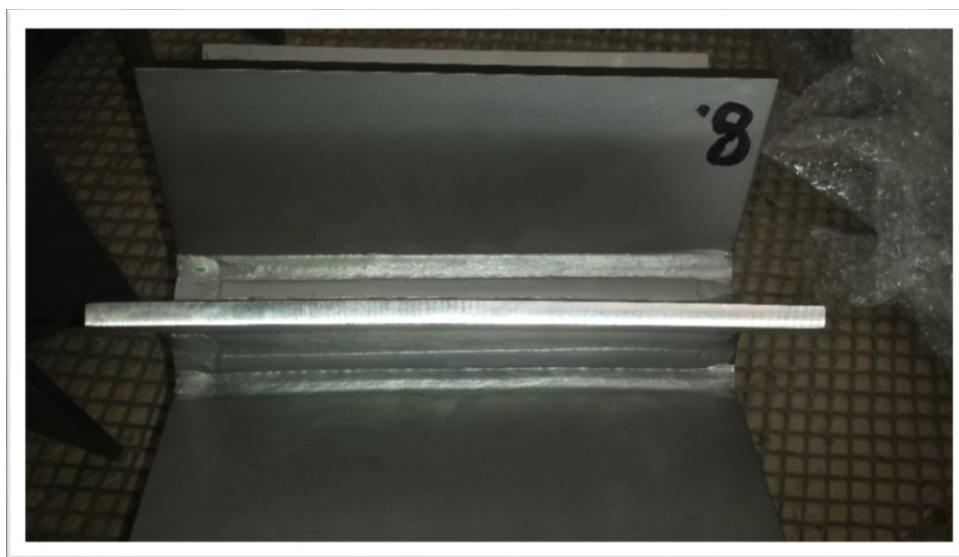
Kráterové trhliny se řadí mezi horké trhliny, a vznikají při náhlém ukončení svařování. Jejich vnik je koncentrován do dutiny kráteru. Jsou zapříčiněny prudkým tuhnutím svarového kovu. Na obrázku č. 41 kráterová trhlina.



Obrázek č. 41- Kráterová trhlina

6.7 Deformace lopatek vlivem vneseného tepla

Vnesené teplo je jedním ze základních parametrů pro výslednou strukturu při svařování. Při svařování dochází následkem nerovnoměrného ohřevu ke vzniku vnitřního pnutí, které vede k deformacím, smrštění svarové konstrukce. Obrázek č. 42 deformace konstrukce.



Obrázek č. 42- Deformace lopatek

7 Makroskopický rozbor svarového kovu

Navrhnuté svařovací postupy dle očíslovaných pWPS byly zkoumány optickou metalografií. Metalografický vzorek je takový vzorek, který je možno podrobit ke studii struktury materiálu, kterou nelze bez předchozí úpravy pozorovat. Pro dosažení optimálních výsledků je nutné dodržení pravidel přípravy pozorovaných vzorků, aby nedošlo ke zkreslení důsledkem změn struktury během přípravy. Plocha vzorku připravená k metalografické analýze se nazývá metalografický výbrus.

Odběr vzorku

Při odběru vzorku nesmí dojít k mechanickému ani tepelnému ovlivnění struktury. V důsledku odporu materiálu proti vnikání řezného klínu nástroje, kterým byl pilový lis rámové pily, dochází k postupnému navyšování teplot připravovaného vzorku. Při přípravě vzorků nedošlo k dosažení teplot, které by vedly k fázovým přeměnám, a znehodnotily výsledky makroskopického rozboru. Při tvorbě byl kladen důraz na nízké řezné rychlosti a na dostatečné chlazení řezaných vzorků. Vzorky byly vytvořeny kolmým řezem na svarový spoj. Po odběru byly vzorky označeny pomocí razidel příslušnými čísly odpovídajícím svařovacím postupům dle pWPS.

Broušení vzorku

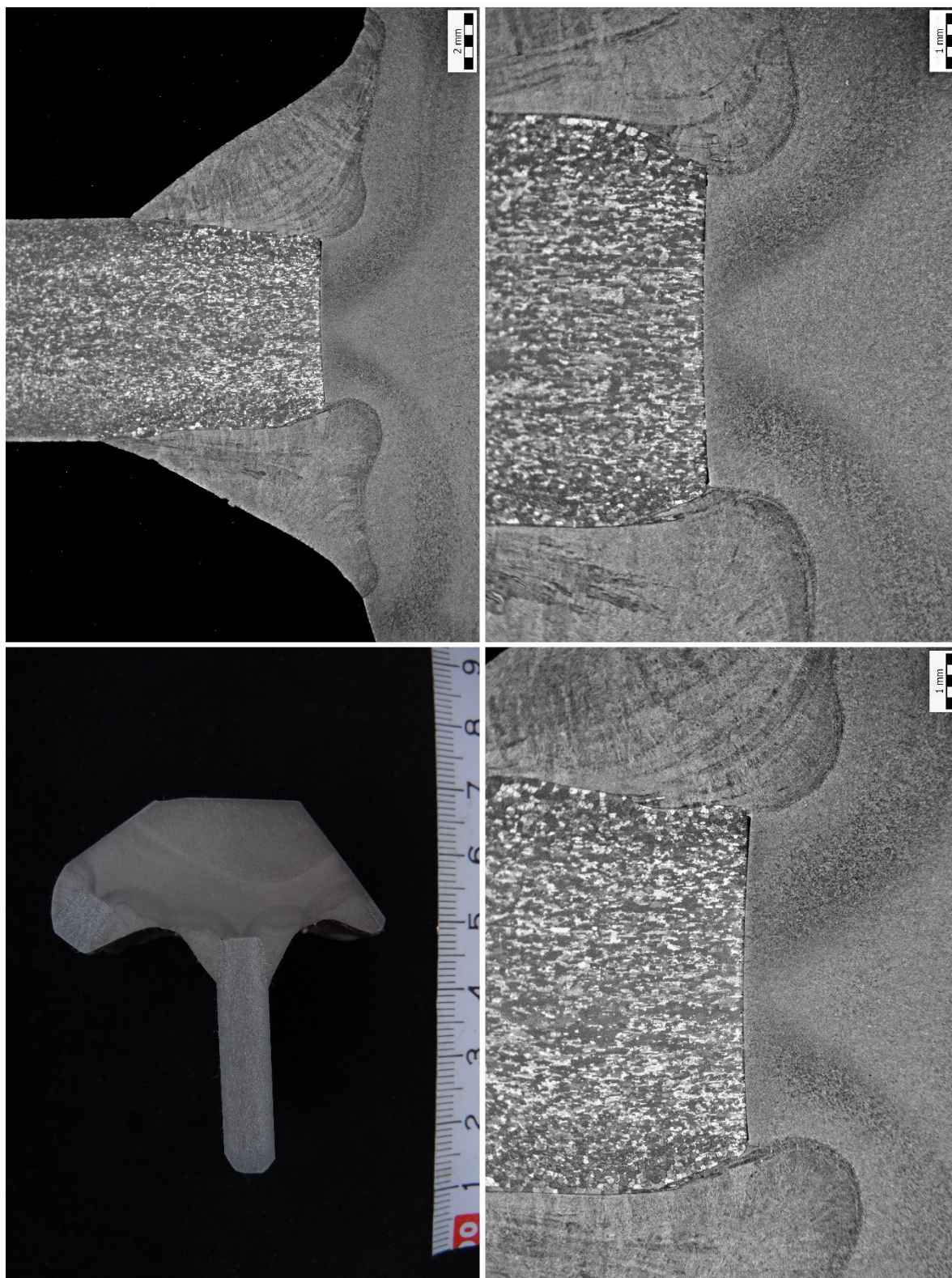
Cílem broušení vzorků je především minimalizovat nerovnosti na povrchu vzorku. Broušení je možno provádět ručně nebo mechanizovaně. Postup ručního broušení začíná jednosměrným broušením na příslušné zrnitosti brusného papíru. Následuje oplach a přechod na nižší zrnitost s broušením směřovaným kolmo na směr předchozí. Tento proces je stále opakován, dokud zcela nezmizí drážky reprezentující předchozí broušení. Mezi nejjemnější zrnitosti se řadí brusné papíry se zrnitostí 2400 dle normy FEPA.

Leptání vzorku

Hlavním cílem leptání je vyvolání mikrostruktury připraveného vzorku. Při leptání je třeba dbát na vlastnosti leptaného povrchu a dle nich volit vhodný způsob leptání a volbu leptadla. Leptání je možno provádět chemické, leptání na hranici zrn, plošné leptání, selektivní leptání, elektrolytické leptání a leptání tepelné. Bylo použito leptání dle Adlera.

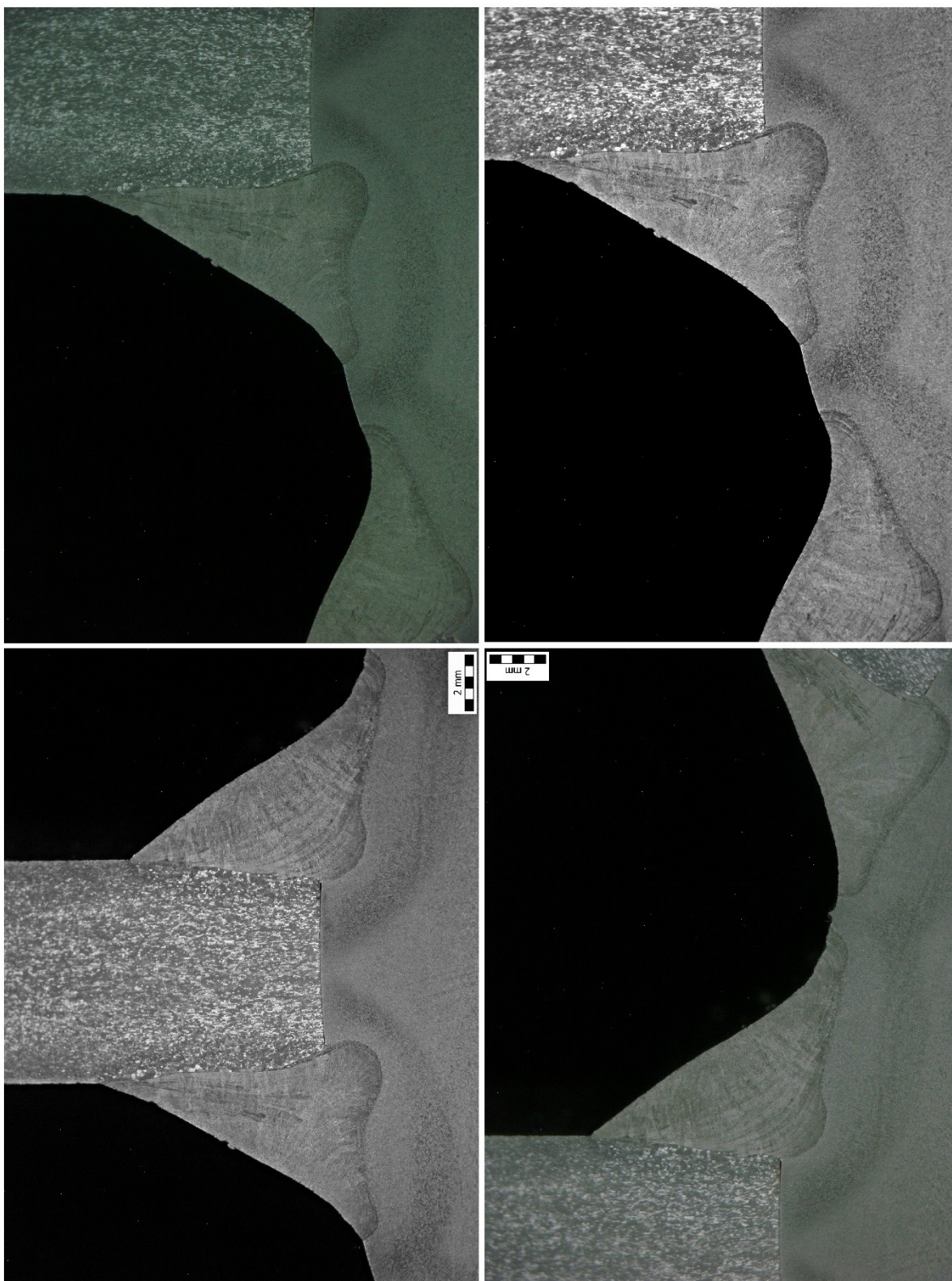
7.1 Makroskopický rozbor pWPS01

Fotodokumentace makroskopického rozboru pro navržený svařovací postup dle pWPS01. Na obrázku č. 43, makroskopický rozbor svařovacího postupu pWPS01.



Obrázek č. 43- Makroskopický rozbor pWPS01_1 (lpt. Adler)

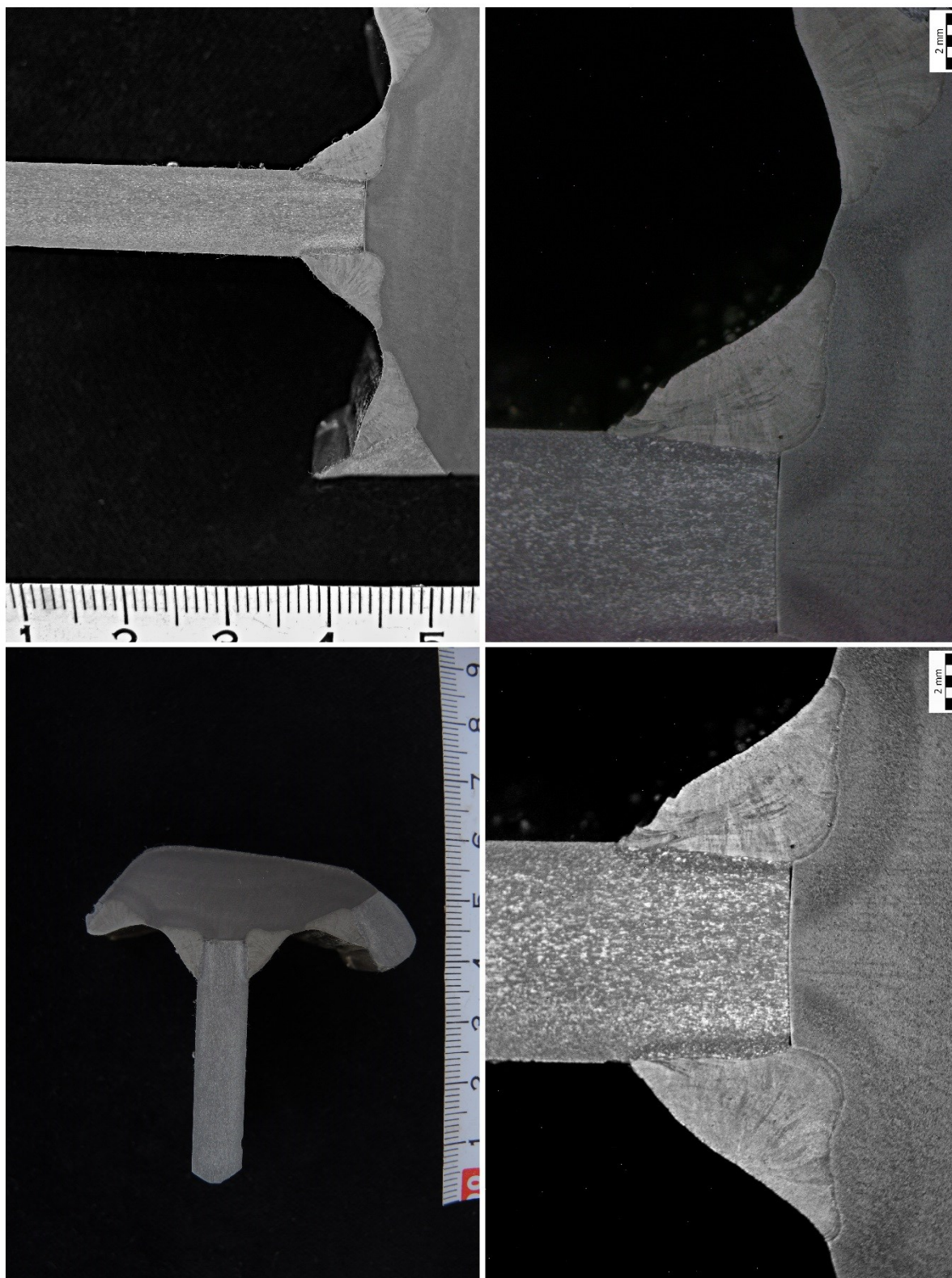
Na obrázku č. 44 makroskopický rozbor svařovacího postupu pWPS01.



Obrázek č. 44- Makroskopický rozbor pWPS01_2 (lpt. Adler)

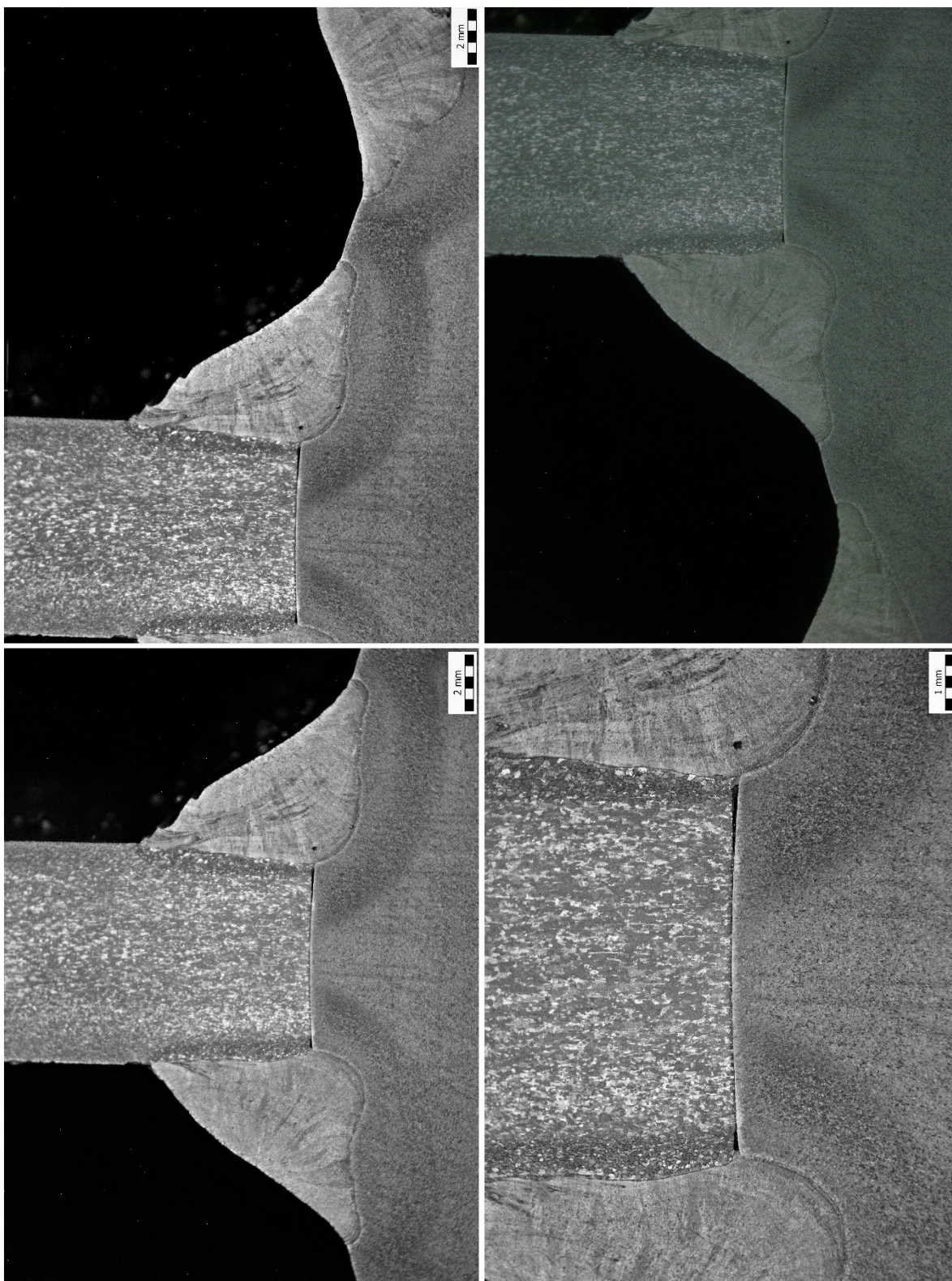
7.2 Makroskopický rozbor pWPS02

Fotodokumentace makroskopického rozboru pro navržený svařovací postup dle pWPS02. Na obrázku č. 45, makroskopický rozbor svařovacího postupu pWPS02.



Obrázek č. 45- Makroskopický rozbor pWPS02_1 (lpt. Adler)

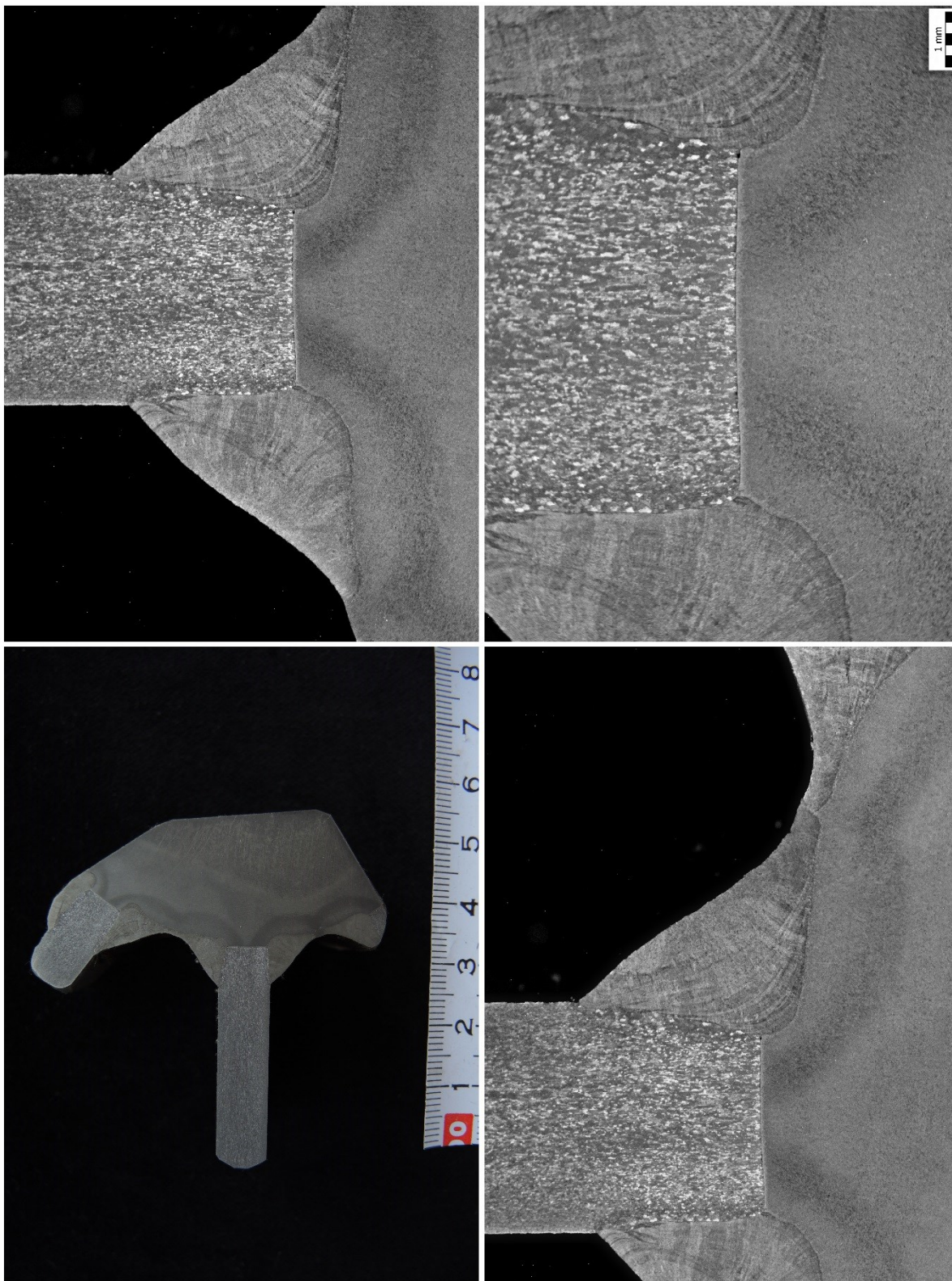
Na obrázku č. 46 makroskopický rozbor svařovacího postupu pWPS02.



Obrázek č. 46 Makroskopický rozbor pWPS02_1 (lpt. Adler)

7.3 Makroskopický rozbor pWPS03

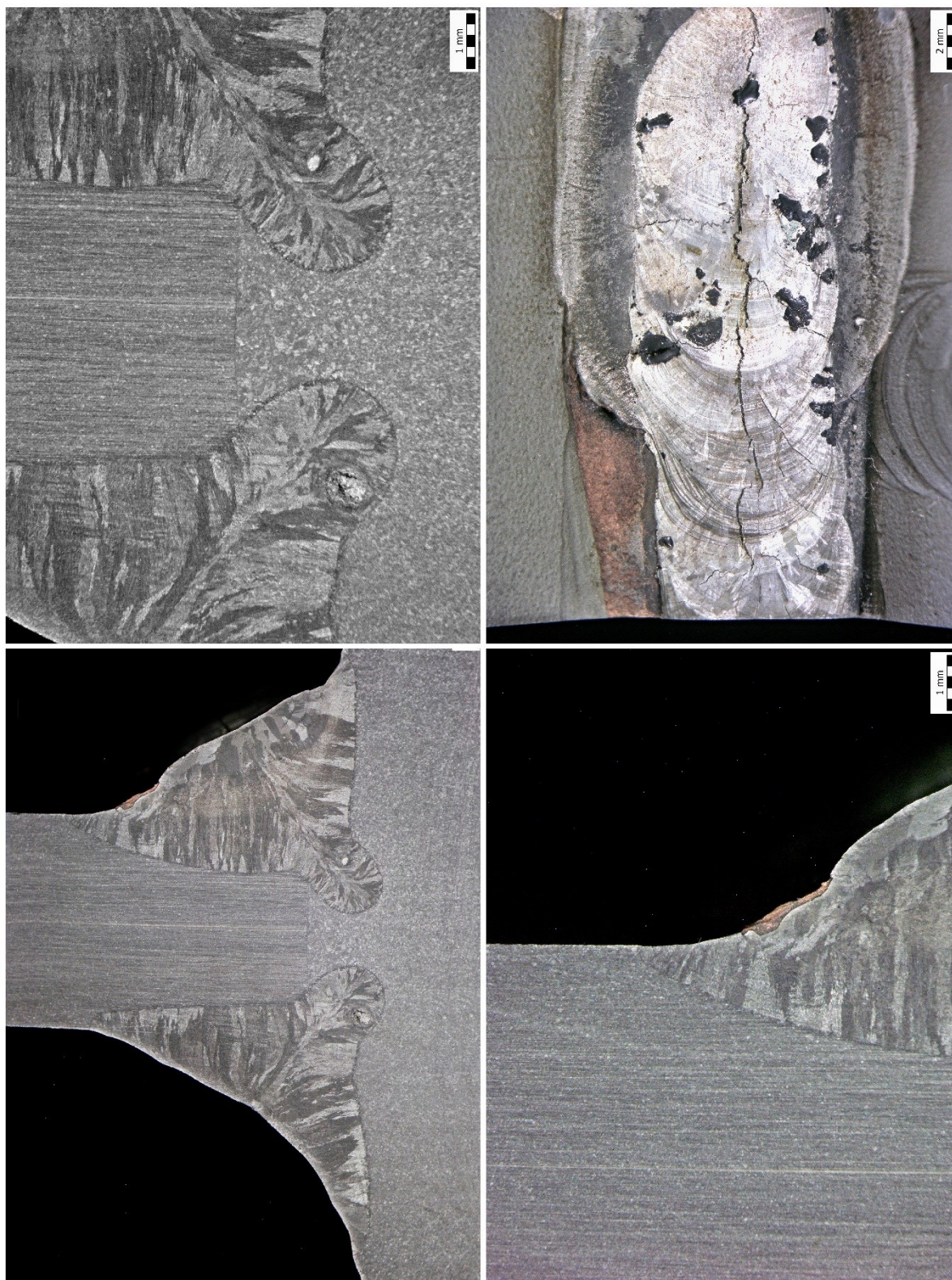
Fotodokumentace makroskopického rozboru pro navržený svařovací postup dle pWPS03. Na obrázku č. 47, makroskopický rozbor svařovacího postupu pWPS03.



Obrázek č. 47- Makroskopický rozbor pWPS03 (lpt. Adler)

7.4 Makroskopický rozbor kráterové trhliny

Fotodokumentace makroskopického rozboru znázorňující kráterovou trhlinu na obrázku č. 48.



Obrázek č. 48- Makroskopický rozbor kráterové trhliny (lpt. Adler)

7.5 Analýza makroskopického rozboru dle pWPS01

Svarový spoj hodnocen jako přípustný. Dle výkresové dokumentace je požadován svarový spoj o velikosti 3 mm. Výsledná velikost odpovídá hodnotě 5 mm, je v rozporu s výkresovou dokumentací, avšak přináší navýšení s ohledem na mechanické namáhání. Nadměrná velikost svaru přináší propojení svarových housenek a nadbytečné vnesení tepla do základního materiálu. Svarový spoj je bez trhlin, vrubů a zápalů. Svarový kov krystalizoval rovnoměrně. Z makroskopického výbrusu je zřejmá nesymetrie. Osa svarového spoje je směřováno do základního materiálu X6CrNiTi 8-10. S ohledem na odvod tepla je toto nastavení vhodné, avšak mohlo by zapříčinit vznik studeného spoje na základním materiálu X6Cr17. Pro výraznější provaření kořenové oblasti nutná korekce geometrie svařovacího hořáku směrem do materiálu X6Cr17.

7.6 Analýza makroskopického rozboru dle pWPS02

Svarový spoj hodnocen jako přípustný. Dle výkresové dokumentace je požadován svarový spoj o velikosti 3 mm. Výsledná velikost odpovídá hodnotě 5 mm, je v rozporu s výkresovou dokumentací, avšak přináší navýšení s ohledem na mechanické namáhání. Svarový spoj je bez trhlin. Zjevná neplynulost přechodu svarové kovu na základní materiál X6Cr17. Svarový kov krystalizoval rovnoměrně. Výskyt pórů ve svarovém kovu. Jedná se však o vadu přípustnou. Výskyt pórů ve svarovém kovu nelze definovat jako náhodný nález. V příčném řezu výskyt třech pórů.

7.7 Analýza makroskopického rozboru dle pWPS03

Svarový spoj hodnocen jako přípustný. Dle výkresové dokumentace je požadován svarový spoj o velikosti 3 mm. Výsledná velikost odpovídá hodnotě 5 mm, je v rozporu s výkresovou dokumentací, avšak přináší navýšení s ohledem na mechanické namáhání. Svarový spoj je bez trhlin, vrubů pórů a zápalů. Svarový kov krystalizoval rovnoměrně. Z makroskopického výbrusu je zřejmá symetrie svarového spoje. Tvar svarového spoje je vydutý, což přináší značné výhody s ohledem na vnitřní namáhání. Vydutý tvar zamezuje vzniku potenciálních trhlin.

7.8 Analýza makroskopického rozboru kráterové trhliny

Kráterová trhlina je vadou nepřipustnou. Jedná se o horkou trhlinu. Z makroskopického rozboru je zřejmá nerovnoměrná krystalizace. Dendritická zrna jsou

směřována do osy svaru. Příčinou této vady je nedostatečné vnesené teplo při svařování. V kořenové oblasti výskyt struskového, popřípadě oxidického vměstku. Nerovnoměrná kresba. Další závažnou vadou je výskyt mědi ve svarovém kovu, razantní snížení korozivzdorných vlastností austenitického materiálu.

8 Vyhodnocení a diskuse dosažených výsledků

Proces svařování rotorů podavače AirLock byl vylepšen na základě několika aspektů. Byla provedena revize svařovacího zařízení, úprava svařovacího postupu včetně změn stehovacího postupu. Svařování je nyní bez nepřijatelných vad ve svarovém spoji a lze považovat za opakovatelný proces.

8.1 Vyhodnocení stehovacího postupu

Byl vytvořen vzorkovací protokol, který obsahuje šest postupů stehování. Nejlepších výsledků, které byly ověřeny na základě obrábění čelní plochy rotoru podavače, dosáhl vzorek číslo 4.

Vzorek č. 4

- Stehování kořenové oblasti metodou svařování 141 ($I = 160 \text{ A}$).
- Mezioperační očištění svarových ploch.
- Vyplnění kořenové vrstvy metodou 135 – 2 housenky ($I = 140 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$).
- Vyplnění kořenové vrstvy mimo polohovací zařízení ve svislé poloze.
- Mezioperační očištění svarových ploch.

Úprava stehovacího postupu značně ovlivnila zamezení vzniku kráterových trhlin, pórů a bublin ve svarovém kovu.

8.2 Vyhodnocení svařovacího postupu pWPS

Byly navrženy tři svařovací postupy. Svařovací postupy se liší na základě přenosu kovu a svařovacích parametrů. Navržené postupy byly zkoumány na základě vizuální zkoušky a metalografického rozboru. Na základě metalografického rozboru byl vybrán jako nejvhodnější svařovací postup pWPS01. Postup dle pWPS01 neobsahoval žádné nepřijatelné vady. Nebyl prokázán výskyt pórů, vměstků, trhlin ve svarovém kovu. Pro optimální svařování dle svařovacího postupu dle pWPS01 nutná pouze úprava geometrie svařovacího hořáku.

Další vhodný svařovací postup dle pWPS03. Nevýhodou tohoto postupu je však značný rozstřík svarového kovu zapříčiněn zkratovým přenosem. Tato vada se u testovaného rotoru vyskytovala v přijatelné míře, avšak při užití u řadového produktu s uzavřenými čelními plochami by veškerý rozstřík svarového kovu ulpíval na svařované konstrukci.

8.3 Foukání elektrického oblouku

Nejlépších výsledků dosáhl svařovací postup dle pWPS01. Z vizuální zkoušky je však zjevná nesymetrie svarové housenky. V průběhu svařování došlo k vizuální kontrole tvaru elektrického oblouku. V poslední třetině podélného svaru došlo k foukání elektrického oblouku, které zapříčinilo výslednou nesymetrii tvaru svarové housenky.

Příčinou foukání oblouku bývá chybné umístění zemnicího vodiče. Jelikož se jedná o robotizované pracoviště, zemnicí vodič je připojen na upínací sklíčidlo otočného dvoupaletového systému. Změna umístění zemnicího vodiče by znamenala zásadní vstup do konstrukce dvoupaletového otočného upínacího systému robotizovaného pracoviště Reis Robotics. Navrhují vytvoření testovacího vzorku s manuálním umístěním zemnicího vodiče do osy svařované součásti pro potvrzení vzniku vady zapříčiněnou foukáním elektrického oblouku.

8.4 Korekce dráhy svařovacího hořáku

Byla provedena korekce dráhy svařovacího hořáku, která obsahovala změnu koncových souřadnic ale také změnu geometrie vedení svařovacího hořáku s ohledem na minimální výlet drátu. Primárním cílem, bylo odstranění pórovitosti na kraji a konci svařované konstrukce. Koncové souřadnice, kde elektrický oblouk není stabilní, byly umístěny mimo výslednou obrobenu součást a výsledkem je konstrukce bez výskytu nepřípustných vad. Toto opatření lze však aplikovat pouze na výrobní řadu bez čelního uzavření.

8.5 Revize svařovacího zařízení

Chladicí systém svařovacího hořáku

Robotizované pracoviště vykazovalo značné nedostatky s ohledem na životnost koncovek svařovacího hořáku. Svařovací hořák je opatřen chladícím okruhem pro zvýšení efektivity odvádění tepla. Tento systém byl však chybně zapojen a docházelo poté k nadměrnému zahřívání svařovacího hořáku, které často vedlo k úplnému roztavení a ukončení procesu svařování.

Podávací systém přidavného drátu

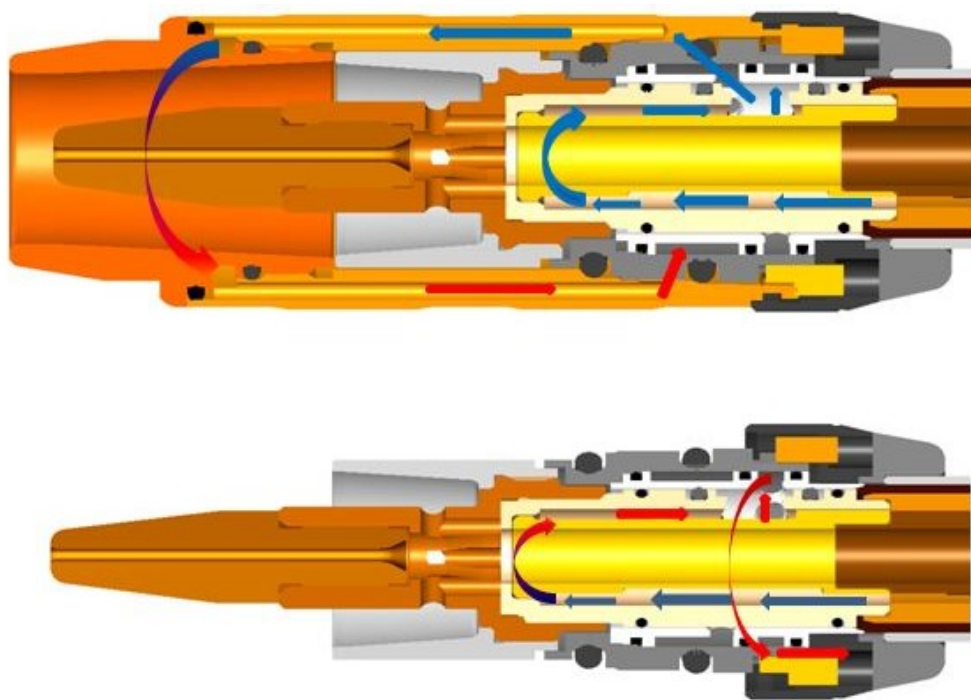
Pro optimální svařovací proces je nezbytné plynulé podávání přidavného materiálu. Bylo provedeno přepracování trajektorie podávacích bovdenů, aby nedocházelo ke zbytečnému tření přidavného materiálu.

Při vylepšení podávacího systému došlo k výměně podávacích kladek v podavači svařovacího zařízení. Podávací kladky byly značně znečištěny a neplnily svou optimální funkci plynulého podávání.

8.6 Návrh nové generace svařovacího hořáku

S ohledem na výrobu svařovaného rotoru AirLock s uzavřenou konstrukcí by bylo vhodné užití nové generace svařovacích hořáků s aktivním chlazením. Chladicí médium je přiváděno až do čelních částí svařovací hubice, což přináší zvýšení efektivity odvodu tepla z inkriminovaných míst svařovacího hořáku. Společnost Fronius, od které je užíváno svařovací zařízení TransPuls Synergic 5000 poskytlo prezentaci s náhledem na princip aktivního chlazení. Na obrázku č. 49 znázornění principu chlazení u hořáku MTW 700i. Hořák MTW 700i je hořák určen pro ruční svařování, avšak princip řešení chlazení společnost Fronius aplikuje i do automatizovaných procesů pod názvem výrobní řady Robacta.

Zásadní problém spojen s nadměrným zahříváním stávajícího hořáku způsobuje postupné odtavování měděné špičky hořáku do svarové lázně. Obsah mědi ve svarovém kovu austenitického materiálu degraduje korozivzdorné vlastnosti výsledné struktury.



Obrázek č. 49- Fronius MTW 700i [21].

8.7 Rozstřík svarového kovu

Rozstřík svarového kovu byl eliminován změnou svařovacích parametrů. Zásadní vliv na rozstřík svarového kovu má volná délka drátu. Nastavení volné délky je limitováno konstrukčním prostorem svařované součásti. Minimální nastavení, které je umožněno s ohledem na konstrukční možnosti je 15 mm. Optimální hodnota volné délky drátu pro průměr přídatného materiálu 1 mm je rovna 13 mm.

9 Závěr

Cílem diplomové práce byla optimalizace procesu automatizovaného obloukového svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. Svařování je prováděno zdrojem TransPuls Synergic 5000, který je digitalizovaný a mikroprocesorem řízený svařovací zdroj pro 131/135 svařování pro krátký, sprchový a impulzní oblouk. Svařovanou konstrukcí je rotor podavače AirLock, který slouží primárně k redukci pracovního tlaku od filtrované substance. Sekundární funkcí tohoto systému je bezpečnostní opatření v případě zahoření filtrované substance. Při neshodném svařování může dojít k odlomení filtrační lopatky a odstavení celého filtračního systému.

V teoretické části práce byla provedena charakteristika svařované konstrukce. Základní materiál je chrom-niklová austenitická ocel X6CrNiTi 18-10 s 4% obsahem titanu pro stabilizaci. Na základní materiál jsou přivařovány lopatky rotoru, které jsou vyráběny z austenitické korozivzdorné oceli X6Cr17. Filtrační systém AirLock je užíván v potravinářském průmyslu, a proto je zde kladen vysoký nárok na korozivzdorné vlastnosti základních materiálů. Dále byl proveden rozbor svařovací technologie včetně robotizovaného pracoviště.

V experimentální části práce byly vytvořeny nápravné technologické postupy svařování pWPS. Nejlepších výsledků dosáhl svařovací postup pWPS01. Svařovací postupy se lišily způsobem přenosu svarového kovu a svařovacími parametry. Bylo vytvořeno vzorkování pro určení vhodného technologického postupu stehování pro zamezení vnitřních vad ve svarovém kovu. Nejlepších výsledků dosáhl vzorek s číselným pořadím 4. Technologické postupy pWPS byly zkoumány vizuální zkouškou a metalografickým rozbořem.

Výsledkem experimentální části práce je navržení svařovacího postupu pWPS01, který vyhověl vizuální a metalografické zkoušce pouze s přípustnými vadami. Svařovací postup pWPS01 nevyhověl v rovnoměrnost svarové housenky zapříčiněnou foukáním oblouku. Doporučení pro zamezení vzniku nerovnoměrnosti spočívá ve změně umístění zemnicího vodiče do osy svařované konstrukce. Pro zvýšení efektivity pracovního procesu byl navržen modernizovaný svařovací hořák s aktivním chlazením do čelních míst svařovací hubice.

10 Použitá literatura

- [1] Bühler CZ s.r.o. *Bühler Žamberk* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <https://www.buhlercz.cz/cz/kdo-jsme/o-spolecnosti>
- [2] Bühler CZ s.r.o.. *Bühler Žamberk* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <https://www.buhlercz.cz/cz/galerie/fotogalerie>
- [3] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 80-88780-36-5.
- [4] MIG/MAG Welding. *United Brothers Group* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: http://www.unitedbrothersgroup.com/welding_cutting/migmag_welding
- [5] Tepelné zpracování konstrukcí. *Konstrukce* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/tepelne-zpracovani-konstrukci-svarenych-z-normalizacne-zihanych-a-normalizacne-valcovanych-oceli-s235-a-s355-ve-shode-s-csn-en-iso-17663/>
- [6] MIG/MAG (CO₂). *Atomig* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [7] TRANSPULS SYNERGIC. *Fronius* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.fronius.com/en/welding-technology/products/manual-welding/mig/transpuls-synergic/transpuls-synergic/transpuls-synergic-5000>
- [8] Svarinfo: MIG nebo MAG. *Svarinfo* [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2007101501>
- [9] Reis. *Reis* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://reisrobotics.cz/cz/produkty/opracovn-kov/svaovn>
- [10] *Direct Industry* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/reis-robotics-5644.html>
- [11] ČSN EN ISO 14175: *Svařovací materiály - Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy*. Praha: Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

- [12] OK AristoRod 12.63. *ESAB* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z:
http://www.okweld.cz/PDF/dratymigmag/nelegovane/OK_AristoRod_12_63.pdf
- [13] BUHLER s.r.o.. Výkres sestavy rotoru AIRLOCK [s. l.]: Bühler s.r.o., ©2018
- [14] BUHLER s.r.o.. Dvoupaletový systém Reis Robotics [s. l.]: Bühler s.r.o., ©2018
- [15] *INOX: NEREZOVÁ OCEL 1.4541* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z:
<http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14541.html>
- [16] *Alfun: Korozivzdorná ocel* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z:
<http://www.alfun.cz/produkty/nerez/korozivzdorna-ocel-nerez>
- [17] *Italinox* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:
<http://www.italinox.cz/plechy/charakteristika-materialu/strana-2>
- [18] *Svět nerezí* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:
<http://www.svetnerezí.cz/index.php/sample-page/druha-stranka/nerezova-ocel/>
- [19] *MIGAL: Schaeffler diagram* [online]. [cit. 2018-05-09]. Dostupné z:
<http://www.migweld.de/english/service/welding-stainless-steels/schaeffler-diagram-with-different-base-materials/>
- [20] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [21] Fronius Česká republika s.r.o.. Fronius MTW 700i [s. l.]: Fronius Česká republika s.r.o., ©2018

Seznam tabulek

Tabulka 1- Chemické složení X6CrNiTi 18-10 [15]	20
Tabulka 2- Mechanické vlastnosti X6CrNiTi 18-10 [15]	20
Tabulka 3- Chemické složení X6Cr17 [16]	21
Tabulka 4- Mechanické vlastnosti X6Cr17 [16]	21
Tabulka 5- Typické chemické složení přídatného drátu (%) [12]	21
Tabulka 6- Mechanické hodnoty čistého svarového kovu [12]	21
Tabulka 7- Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty [12]	21
Tabulka 8- Fronius TransPuls Synergic 5000 [7]	35
Tabulka 9- Reis Robotics RV30-16 [10]	37
Tabulka 10- Reis Robotics RV30-16 pracovní prostor [10]	37
Tabulka 11- pWPS vzorek č. 1	48
Tabulka 12- pWPS vzorek č. 2	51
Tabulka 13- pWPS vzorek č. 3	54

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 - Rotorový podavač AirLock [2]	15
Obrázek č. 2 - Filtrační systém v provozu	16
Obrázek č. 3- Komponenty podavač AirLock	17
Obrázek č. 4- AirLock schematická funkce.....	18
Obrázek č. 5- Výkres sestavy rotoru AirLock [13]	19
Obrázek č. 6- Schaefflerův diagram výpočet [19].....	22
Obrázek č. 7- Schaefflerův diagram [19].....	22
Obrázek č. 8- MIG/MAG svařování [4]	25
Obrázek č. 9- TOO při svařování [5].....	26
Obrázek č. 10 - 131/135 svařovací zařízení [6]	27
Obrázek č. 11- přenos kovu v oblouku [20]	28
Obrázek č. 12- Pulzní přenos svarového kovu [3].....	29
Obrázek č. 13- odlišnosti při užití aktivního a inertního plynu [3].....	33
Obrázek č. 14- Fronius TransPuls Synergic 5000 [7].....	34
Obrázek č. 15- Robotizované pracoviště Bühler CZ	35
Obrázek č. 16- Reis Robotics RV30-16 [10].....	36
Obrázek č. 17- Reis Robotics rotor podavače.....	37
Obrázek č. 18- Reis Robotics RV30-16 pracovní prostor [10].....	38
Obrázek č. 19- Dvoupaletový systém Reis Robotics [14]	39
Obrázek č. 20- Stehovací body	42
Obrázek č. 21- Testovací vzorek 01	44
Obrázek č. 22- Testovaný vzorek 02	44
Obrázek č. 23- Korekce volné délky	46
Obrázek č. 24- Testovací vzorek - 01	46
Obrázek č. 25- Testovací vzorek - 02	47
Obrázek č. 26- pWPS01 - 01	49
Obrázek č. 27- pWPS01 - 02	49
Obrázek č. 28- pWPS01 - 03	49
Obrázek č. 29- pWPS02 - 01	52
Obrázek č. 30- pWPS02 - 02	52
Obrázek č. 31- pWPS02 - 03	52
Obrázek č. 32- pWPS03.....	55
Obrázek č. 33- Rozstřík svarového kovu.....	56

Obrázek č. 34- Rozstřík svarového kovu již po stehování	57
Obrázek č. 35- Detail rozstřík svarového kovu	57
Obrázek č. 36- Neprůvar svarového spoje	58
Obrázek č. 37- Neprovařený kořen svarového spoje	59
Obrázek č. 38- Póry ve svarovém kovu	59
Obrázek č. 39- Povrch svarového kovu	60
Obrázek č. 40- Bublíny ve svarové kovu	60
Obrázek č. 41- Kráterová trhlina	61
Obrázek č. 42- Deformace lopatek	61
Obrázek č. 43- Makroskopický rozbor pWPS01_1 (lpt. Adler)	63
Obrázek č. 44- Makroskopický rozbor pWPS01_2 (lpt. Adler)	64
Obrázek č. 45- Makroskopický rozbor pWPS02_1 (lpt. Adler)	65
Obrázek č. 46 Makroskopický rozbor pWPS02_1 (lpt. Adler)	66
Obrázek č. 47- Makroskopický rozbor pWPS03 (lpt. Adler)	67
Obrázek č. 48- Makroskopický rozbor kráterové trhliny (lpt. Adler)	68
Obrázek č. 49- Fronius MTW 700i [21].	73